Atlas mondial de l'eau
Défendre et protéger notre bien commun
David Blanchon
QUATRIÈME ÉDITION
autrement

Auteurs

David Blanchon. Géographe, il enseigne à l'université Paris-Ouest Nanterre après avoir passé deux ans au sein de l'IRL iGlobes (CNRS-université d'Arizona) à Tucson, Arizona. En 2004, sa thèse, soutenue à l'université Paris X sous la direction de Jean-Paul Bravard et d'Alain Dubresson, a obtenu le prix de thèse de géographie décerné par le Comité national français de géographie. Elle est parue en 2009 aux éditions Karthala, sous le titre *L'Espace hydraulique sud-africain. Le partage des eaux*. Il a été membre du comité éditorial de l'*Atlas de l'Anthropocène* (CNRS éditions, 2019) et l'auteur de *Géopolitique de l'eau : entre conflits et coopérations* (Le Cavalier Bleu, 2019).

Cartographe

Aurélie Boissière est géographe-cartographe indépendante (http://boiteacartes.fr/). Elle a réalisé de nombreux atlas dans la collection « Atlas Autrement », notamment l'*Atlas de l'Amérique précolombienne* (2022). Elle a également collaboré à plusieurs collections sur l'histoire de France et l'histoire ancienne chez d'autres éditeurs.

Maquette : Twapimoa
Coordination éditoriale : Marion Chatizel, Anne Lacambre pour cette édition
Fabrication : Margot Jourdan

ISBN : 978-2-0802-7467-0

© Autrement, un département de Flammarion, 2022.
87, quai Panhard et Levassor, 75647 Paris Cedex 13
www.autrement.com

Dépôt légal : février 2022

Dépôt légal des éditions précédentes : © Éditions Autrement 2009, 2013, 2017.

Imprimé et relié en janvier 2022 par l'imprimerie Pollina, France

Tous droits réservés. Aucun élément de cet ouvrage ne peut être reproduit, sous quelque forme que ce soit, sans l'autorisation expresse de l'éditeur et du propriétaire, les Éditions Autrement.

Atlas mondial de l'eau

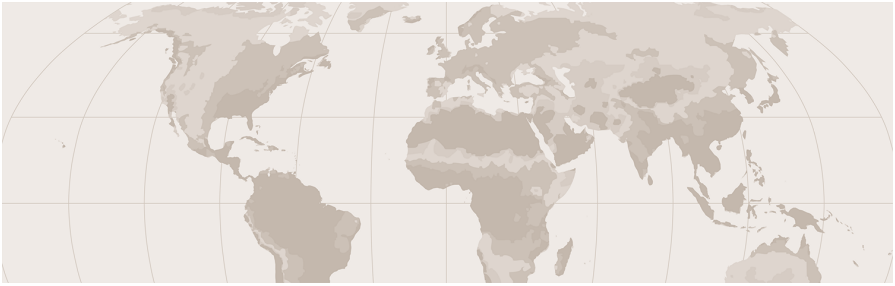
Défendre et protéger notre bien commun

David Blanchon

Cartographie d'Aurélie Boissière

Quatrième édition

Autrement
Collection Atlas Monde



Atlas mondial de l'eau

Introduction

Une ressource irremplaçable

Une ressource abondante, mais inégalement répartie
Le cycle hydrologique de la planète
Les grands bassins versants
Les eaux souterraines
Hautes et basses eaux
Sécheresses et inondations
Des milieux riches et variés

Mobiliser et utiliser l'eau

Des États inégalement dotés
Des capacités de mobilisation très différentes
Une mise en valeur ancienne
Les techniques modernes
Prélèvements et consommation (I) : données générales
Prélèvements et consommation (II) : le secteur agricole
Prélèvements et consommation (III) : le secteur industriel
Prélèvements et consommation (IV) : l'eau domestique

Une ressource menacée

Les effets des grands barrages
Des zones humides en danger
La surexploitation des ressources souterraines
Les pollutions d'origine agricole
Les pollutions industrielles et urbaines
Les risques liés à l'eau
Les catastrophes régionales

De l'eau pour tous ?

Une valeur inestimable
Une ressource disputée
Les concurrences régionales
L'accès à l'eau,un enjeu mondial
L'eau : un révélateur des inégalités sociales et de genre
Le « marché mondial » de l'eau
Le prix de l'eau potable

Quels défis pour le xxie siècle ?

Des régions à risque
Les grands projets de collaboration entre États
Vers la gestion de la demande ?
La révolution bleue
L'eau virtuelle
Les solutions innovantes dans les villes
Quels scénarios pour 2030 ?

Conclusion générale

Annexes

Glossaire
Bibliographie sélective et sites Web
Sources

Introduction

Le problème de l'eau se pose en termes simples : plus de 600 millions d'habitants n'ont pas accès à l'eau potable dans le monde ; 40 % de la production agricole mondiale dépend de l'agriculture irriguée ; les écosystèmes aquatiques jouent un rôle indispensable dans les processus naturels, mais sont aussi parmi les plus fragiles. Au cours des prochaines décennies, il faudra donc à la fois apporter de l'eau potable à tous et accroître la production agricole en zones irriguées pour répondre à la double augmentation de la population et du niveau de vie, tout en préservant les milieux naturels. C'est ce triple défi économique, social et environnemental qui devra être relevé, avec une urgence particulière dans les pays du Sud et faire face à la perspective de changements climatiques.

Une ressource irremplaçable

L'eau est l'élément le plus précieux, le « signe distinctif » de notre planète : façonnant le relief terrestre et régulant le climat (la vapeur d'eau est le principal gaz à effet de serre), elle a permis le développement de la vie. Elle y est abondante : il n'y a pas de pénurie d'eau douce au niveau mondial. Les problèmes liés à cette ressource viennent de son inégale répartition spatiale et temporelle. La variabilité climatique crée une succession de sécheresses et d'inondations, révélant le manque d'adaptation des sociétés à ces phénomènes. Mais il n'existe pas de problèmes d'accès à l'eau qui ne soient potentiellement solubles techniquement aujourd'hui, même si cela occasionne un coût environnemental et social important.

Des capacités différentes à mobiliser la ressource

Les techniques, après des millénaires d'amélioration, permettent aujourd'hui de construire d'immenses barrages pour réguler les fleuves, de transférer l'eau sur des centaines de kilomètres, de dessaler l'eau de mer à un coût désormais plus abordable. C'est pourquoi ce qui distingue actuellement les États n'est pas tant leur ressource brute calculée par habitant que leur capacité à mobiliser cette ressource. Au niveau mondial, l'agriculture reste le principal poste de prélèvement et de consommation d'eau, utilisant près de trois quarts des ressources, mais la consommation des villes, surtout dans les pays du Sud, croît rapidement. La concurrence entre régions et entre villes et campagnes s'exacerbe partout dans le monde. Avec la multiplication des grands barrages et des transferts d'eau à grande distance, l'eau semble « couler » désormais vers l'argent et le pouvoir.

Une ressource menacée

Les prouesses techniques pour apporter l'eau là où on en a besoin, quand on en a besoin, ne suffisent pas, les activités humaines entraînant souvent des désastres environnementaux. Ce ne sont pas la pénurie et le manque d'eau qui posent le plus grand défi en ce début de XXIe siècle, mais plutôt la dégradation incontrôlée de la qualité de la ressource, au Nord comme au Sud. Partout, les ressources en eau sont menacées. Sans atteindre le niveau de la catastrophe de la mer d'Aral, de nombreux périmètres irrigués connaissent des problèmes de salinité inquiétants, ce qui réduit fortement leur production. Au Sud, les rejets des grandes villes ne sont que sommairement traités, tout comme les effluents industriels. Au Nord, même si des investissements lourds ont été effectués pour traiter les pollutions industrielles et urbaines, les écosystèmes aquatiques souffrent à la fois de pollutions diffuses liées à l'agriculture intensive (nitrates, phosphates et pesticides) et de pollutions héritées, comme les

PCB dans le Rhône et dans les autres fleuves européens. Et, en retour, ces pollutions menacent la santé de millions d'êtres humains.

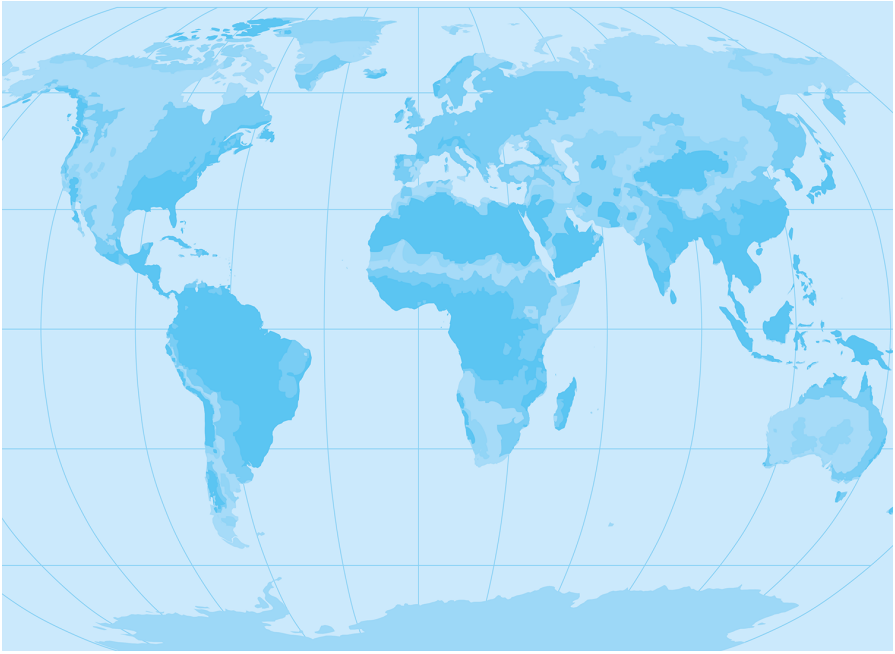
De l'eau pour tous ?

Les aménagements hydrauliques, construits pour produire, distribuer et traiter les eaux, demandent généralement des investissements importants. Ces coûts accroissent fortement les inégalités liées à l'eau entre villes et campagnes, et dans les villes. Celles-ci soulignent les différences sociales (les centaines de millions d'habitants qui n'ont pas un accès minimal à l'eau potable et/ou à l'assainissement sont aussi les plus pauvres) ainsi que les inégalités de genre (ce sont généralement les femmes et les filles qui doivent passer de longues heures à aller chercher l'eau) et les aggravent. Ainsi, dans les grandes métropoles du Sud, les pauvres paient l'eau bien plus cher que les plus aisés, qui ont accès au réseau de type européen.

Ces inégalités ne sont pas liées à la quantité d'eau disponible (l'usage de l'eau domestique est très faible par rapport aux besoins agricoles), mais au manque d'investissement et à la non-prise en compte des besoins des populations défavorisées. Le problème du financement de l'eau pour tous est crucial pour les quelques années à venir : qui doit financer les coûts des nouveaux réseaux (États, municipalités, entreprises privées, consommateurs finaux) ? Et quel prix doit-on faire payer ? Des solutions innovantes ont été mises en place dans certains pays comme l'Afrique du Sud pour fournir un minimum d'eau gratuitement à toute la population et pour que le droit proclamé dans la Constitution d'un accès à l'eau universel devienne réalité. Mais la question de la marchandisation d'un bien à nul autre pareil, comme le montre sa valeur symbolique et culturelle à travers le monde, reste posée.

Quelles perspectives ?

Le géographe et hydrologue A. Allan écrivant de façon paradoxale que « les hydrologues pessimistes ont tort, mais leur pessimisme est un outil politique puissant qui permet d'avoir des financements et promouvoir des innovations ; les optimistes ont raison, mais ils sont dangereux car ils permettent aux politiques de traiter l'eau comme un domaine secondaire ». Le pessimiste souligne la dégradation continue de la qualité de la ressource, la persistance d'une « pauvreté hydraulique » dans les pays du Sud, l'incapacité à atteindre les Objectifs du millénaire, pourtant limités. L'optimiste montre les constantes innovations techniques dans l'irrigation, le traitement et le recyclage des eaux usées, les nouveaux modes de gestion plus efficaces, reposant sur la réduction de la demande et permettant de réduire aussi les impacts écologiques. Tout dépendra des choix politiques, fondés sur la solidarité nationale et internationale : 100 milliards de dollars par an, soit l'équivalent de 10 % des dépenses militaires mondiales, seraient nécessaires pour apporter l'eau à tous. Mais ces financements ne donneront les résultats escomptés que s'ils sont associés à une nouvelle culture de l'eau, plus économe, plus égalitaire et plus adaptée aux besoins réels des populations concernées. La résolution des crises régionales de l'eau, qui ont chacune une histoire différente, viendra sans doute principalement de l'émergence de solutions innovantes locales, aidées et non imposées : c'est la clé pour que l'eau pour tous devienne réalité au XXIe siècle.



Une ressource irremplaçable

L'eau est plus qu'abondante sur notre planète. Même si 97,5 % de l'eau présente sur Terre est salée, les stocks d'eau douce restent considérables : plus de 40 millions de km^3. Cependant, seuls les flux, beaucoup plus restreints, déterminent la ressource en eau renouvelable réellement disponible à la fois pour le fonctionnement des écosystèmes et les besoins humains. Ils sont très inégalement répartis sur la surface du globe et très variables à toutes les échelles de temps. Tous les cours d'eau sont ainsi affectés par la variabilité climatique à des degrés divers, entre saisons sèches et humides, et d'une année à l'autre. Mais c'est dans les régions tropicales que les différences sont généralement les plus marquées. Sur une plus longue durée s'y dessinent des cycles de longues périodes sèches et humides, dont les causes et le rythme restent mal connus.
La variabilité temporelle et spatiale des précipitations et des débits

explique la diversité, la richesse mais aussi la fragilité des milieux aquatiques.

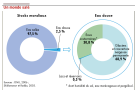
Une ressource abondante, mais inégalement répartie

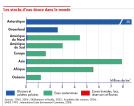
97,5 % de l'eau de la planète bleue est salée. Les 2,5 % restants sont, pour l'essentiel, piégés dans deux inlandsis (Antarctique et Groenland). L'eau douce accessible facilement (rivières, nappes souterraines) ne représente donc qu'environ 0,7 % du stock d'eau mondial, et sa part renouvelée annuellement est encore plus faible (0,02 %). Cela équivaut tout de même à plus de 40 000 km³ (soit 5 000 m³/hab./an), une quantité suffisante pour couvrir tous les besoins humains.

Une ressource difficilement accessible

La majeure partie de l'eau douce est concentrée dans les inlandsis de l'Antarctique (l'équivalent de 28 millions de km³ d'eau douce) et du Groenland (2,6 millions de km³). Au vu des connaissances scientifiques et des techniques, ces réserves ne peuvent être exploitées. Restent donc les eaux souterraines et les eaux superficielles. Les premières, représentant approximativement 10,5 millions de km³, sont relativement bien réparties entre les continents, mais souvent difficiles d'accès. Les différences concernant les stocks d'eau superficielle sont surtout dues à la présence ou non de très grands lacs. L'Amérique du Nord doit ainsi son stock dix fois supérieur à celui de l'Amérique du Sud aux Grands Lacs situés à la frontière entre les États-Unis et le Canada. Ces eaux superficielles sont les plus facilement exploitables, car rapidement renouvelées.

Dans la gestion de l'eau, ce ne sont pas les stocks qui importent (même s'il faut avoir en tête les ordres de grandeur) que les flux. Le problème de l'eau sur notre planète n'est pas tant celui de la quantité globale disponible que de son inégale répartition spatiale et temporelle.





Les lacs, les plus grands réservoirs superficiels d'eau douce

L'essentiel de l'eau douce superficielle est stocké dans les lacs (123 000 km³), le volume présent à chaque instant dans les fleuves (1 300 km³), l'atmosphère et la biosphère étant négligeables.

Le nombre total de lacs est incertain : le Canada, à lui seul, compterait plus de 30 000 lacs de plus de 3 km². Certains, comme le lac Baïkal en Russie ou les grands lacs africains et américains, sont de véritables mers intérieures, suffisamment vastes pour influencer le climat des régions alentour. On compte également plus de 40 000 lacs artificiels situés derrière des barrages de plus de 15 mètres et un nombre bien plus important de plans d'eau artificiels plus petits qui ont un impact important sur le cycle de l'eau.

Enfin, dans les régions sèches, sans exutoire, les eaux chargées en sels minéraux, sous l'effet de l'évaporation, forment des lacs salés comme la mer Morte, le grand lac salé de l'Utah ou encore les chotts du Sahara.

Neiges et glaces

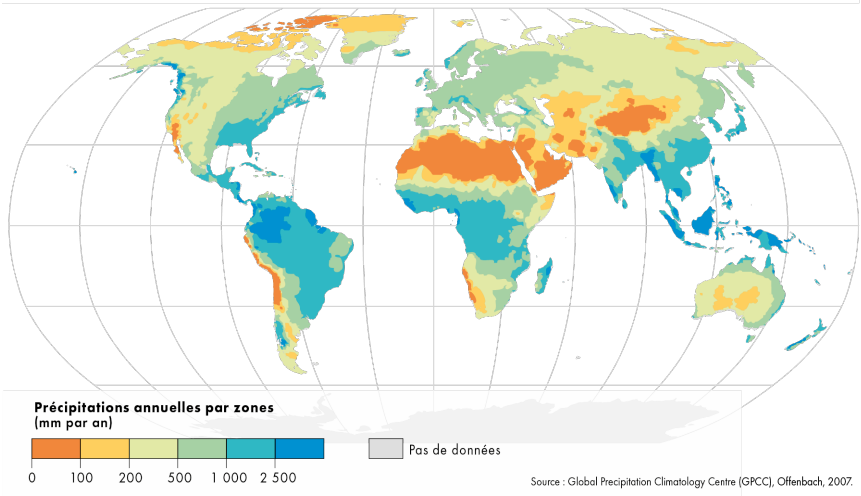
La cryosphère joue un rôle essentiel dans le cycle de l'eau. Son extension est variable au cours des ères géologiques et influe sur le niveau des mers. Vers la fin de la dernière glaciation, il y a environ 18 000 ans, deux immenses inlandsis, centrés respectivement sur le Canada et la Scandinavie, stockaient entre 30 et 34 millions de km³ d'eau, ce qui a abaissé le niveau des mers de 120 mètres. Leur fonte a provoqué un relèvement rapide du niveau des mers en quelques milliers d'années. Aujourd'hui, la fonte du seul inlandsis du Groenland provoquerait une hausse de 7 m du niveau des mers.

À plus petite échelle, les glaciers de montagne jouent également un rôle régulateur. S'ils sont modestes comparés au Groenland et à l'Antarctique, ceux des Alpes occupent 3 000 km² et soutiennent le débit estival de fleuves majeurs comme le Rhône, le Rhin ou le Pô.

La neige, qui couvre 20 % des continents pendant près de six mois, et un tiers pendant trois mois (essentiellement tout le nord de l'Eurasie et une grande partie de l'Amérique du Nord), joue également un rôle majeur dans le cycle de l'eau.

Enfin, dernier élément de la cryosphère, une partie importante de l'eau souterraine est stockée sous forme glacée dans le sous-sol des régions arctiques, notamment en Sibérie, au Canada et également sous les hauts plateaux tibétains. Ce pergélisol est présent sur 20 % de la surface des continents, sur une épaisseur pouvant aller jusqu'à 500 mètres.

Les précipitations dans le monde



Géographie du cycle de l'eau

La répartition géographique des précipitations est liée à la circulation générale de l'atmosphère. À l'échelle du globe, les grands espaces exportateurs d'eau, où l'évaporation est bien plus forte que les précipitations, s'étendent autour de 20° de latitude nord et sud sur les océans Pacifique et Atlantique, ainsi que dans le sud de l'océan Indien, la mer Rouge et le golfe Persique.

Les régions continentales « bénéficiaires » se situent principalement dans les régions équatoriales, puis entre 20° et 40° de latitude sur la façade est des continents (Chine, États-Unis) et plus au nord (entre 40° et 60°) sur leur façade ouest (Europe occidentale, Canada).

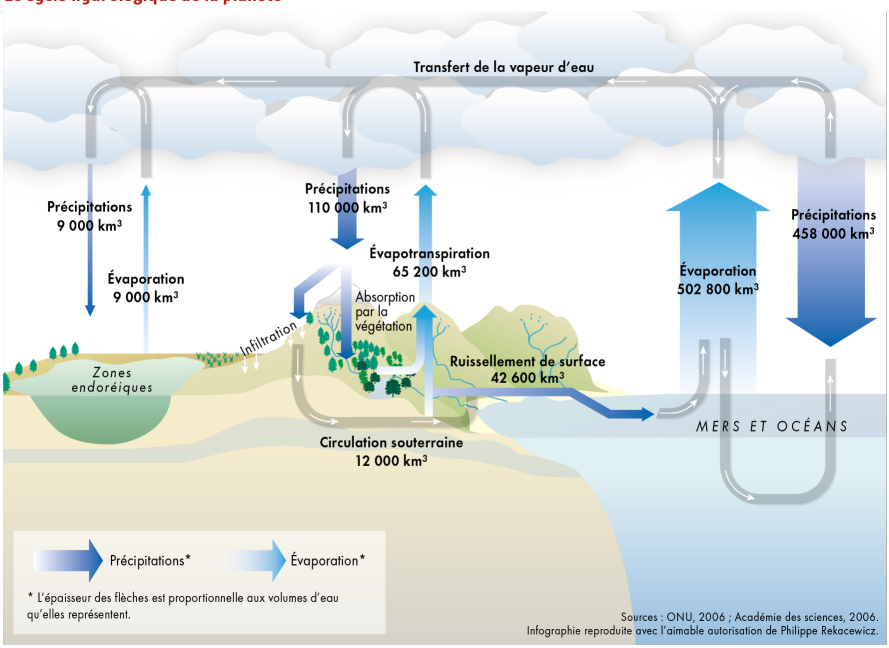
Les régions les plus arrosées du globe se trouvent sans surprise là où des flux venant des océans « sources » rencontrent des obstacles montagneux. C'est le cas par exemple de Cherrapunji (en Inde), où l'air chaud et humide de l'océan Indien bute sur les contreforts de l'Himalaya. Cette station reçoit ainsi 12 mètres de précipitations par an.

À l'inverse, les régions arides, où il tombe moins de 200 millimètres de précipitations, se situent soit dans des régions situées à l'intérieur des continents (déserts d'Asie centrale), soit dans des zones qui sont toujours soumises à des anticyclones (déserts du Sahara et d'Australie). Les régions les plus sèches du globe se trouvent le long des côtes longées par des courants marins froids, comme le désert d'Atacama au Chili, où il ne pleut presque jamais.

Le cycle hydrologique de la planète

Deux données sont essentielles pour comprendre les étapes du cycle de l'eau : l'intensité des flux et le temps de résidence. Dans les glaces de l'Antarctique, l'eau, sous forme de glace, peut être stockée des centaines de milliers d'années, alors que, sur les océans, le cycle évaporation précipitation peut ne prendre que quelques heures. L'intensité des flux, en chaque point du cycle, varie à toutes les échelles de temps considérées.

Le cycle hydrologique de la planète



Sources : ONU, 2006 ; Académie des sciences, 2006.
Infographie reproduite avec l'aimable autorisation de Philippe Rekacewicz.

Un cycle vital

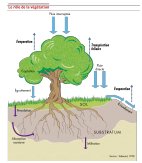
L'énergie solaire est le moteur du cycle de l'eau. L'évaporation sur les océans, le transport dans l'atmosphère, puis les précipitations et l'écoulement sur les continents en sont les éléments essentiels.

Chaque année, 502 800 km³ d'eau s'évaporent sur les océans sous l'effet de l'énergie solaire. La plus grande partie retombe sous forme de précipitations sur les océans, mais 10 % environ sont transférés sous forme de vapeur d'eau sur les continents, où, à des conditions de température et de pression données, ils se condensent et précipitent (pluie ou neige).

Environ 60 % de ces précipitations retournent rapidement dans l'atmosphère, par l'effet de l'évaporation sur les nappes d'eau libre (fleuves et lacs) ou de la transpiration des plantes et des animaux – d'où l'importance de cycles secondaires sur les continents. Cette eau « verte » est indispensable au fonctionnement d'écosystèmes aussi divers que les zones humides ou les forêts. Elle est également utilisée *in situ* par l'agriculture pluviale et pour l'élevage.

Les 40 % d'eau précipitée restants rejoignent rapidement les rivières avec un temps de résidence de

quelques jours. Seule une faible partie s'infiltre plus profondément et atteint les nappes souterraines, mais le temps de résidence étant beaucoup plus long, le volume stocké est bien plus important. On désigne sous le nom d'eaux « bleues » les eaux précipitées qui ne s'évaporent pas, ruissellent et rejoignent les cours d'eau ou s'infiltrent dans les nappes souterraines.



Le rôle de la végétation et des sols

La vision globale ne donne qu'un aperçu trop simplifié du cycle de l'eau, car celui-ci est en réalité composé d'une multitude de circuits locaux, qui dépendent des particularités de chaque bassin versant.

Comme le montre la figure ci-dessus, la végétation et les sols jouent un rôle majeur au niveau local. La végétation intercepte d'abord les précipitations et ralentit le ruissellement, en favorisant l'infiltration dans les sols. L'eau stockée est ensuite captée par les racines et renvoyée dans l'atmosphère, c'est ce que l'on appelle l'évapotranspiration.

Le couple sol/végétation forme des « terroirs hydrologiques », fondés sur des systèmes d'interactions complexes. Ils sont souvent en équilibre fragile. On comprend dès lors que les modifications sur le couvert végétal (défrichement des forêts, changement du type de cultures…) peuvent modifier fortement le cycle de l'eau de régions entières.

L'eau façonne la terre

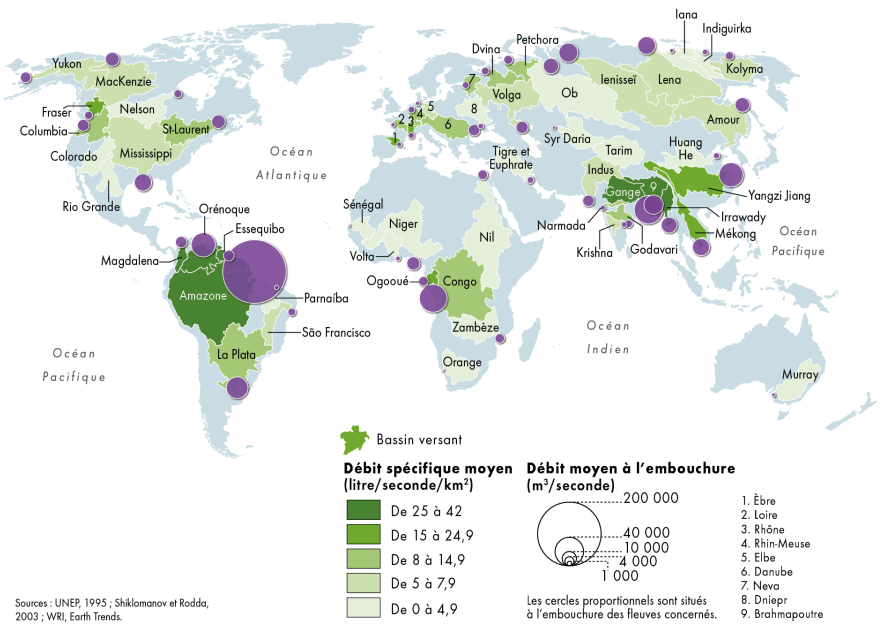
L'eau tient un rôle majeur dans la formation du relief terrestre, comme agent d'érosion, de transport et de sédimentation. Tous les paysages terrestres sont marqués par son action. Le gel et l'érosion fluvio-glaciaire façonnent les hautes montagnes. Les fleuves transportent chaque année de 15 à 30 milliards de tonnes de sédiments vers la mer. Là où l'érosion est la plus forte, la charge solide en suspension peut atteindre des valeurs très importantes : 26 000 mg/l pour le Huang He (contre 85 pour la Seine), ce qui lui vaut d'ailleurs le nom de fleuve Jaune. Les fleuves descendant de l'Himalaya ont également une charge en suspension importante (plus de 1 000 mg/l pour le Gange et l'Indus), ce qui témoigne de la vigueur de l'érosion dans les hauts bassins. En revanche, cette charge est faible dans les bassins de l'Amazone (186) ou du Congo (32) : non que l'eau n'y joue pas un rôle important – elle dissout dans ces régions chaudes et humides les roches sur plusieurs mètres –, mais la forêt protège le sol des précipitations et retient les sédiments meubles.

La corrélation entre le cycle hydrologique et le cycle sédimentaire explique pourquoi l'action de l'homme a souvent des effets plus spectaculaires sur ce dernier que sur le cycle de l'eau lui-même, en l'accélérant ou en le ralentissant : la déforestation entraîne ainsi une érosion accélérée des versants alors que les barrages retiennent les sédiments.

Les grands bassins versants

Le bassin versant (BV) est l'unité de base du cycle de l'eau sur les continents, mais aussi pour l'étude scientifique des cours d'eau et, de plus en plus, pour leur gestion. Le BV d'un fleuve est divisé en sous-bassins emboîtés pour chaque affluent, puis sous-affluent, jusqu'aux unités élémentaires. Il existe toute taille de BV, les plus grands pouvant mesurer, comme l'Amazone, plusieurs millions de kilomètres carrés.

Les principaux bassins versants du monde



Sources : UNEP, 1995 ; Shiklomanov et Rodda, 2003 ; WRI, Earth Trends.

Le bassin versant : unité de base pour comprendre le cycle de l'eau

On définit généralement le bassin versant comme la surface topographique (*impluvium*) où les précipitations s'écoulent vers un exutoire commun. Le BV est limité par la ligne de partage des eaux. Il comprend également les écoulements souterrains dont les limites peuvent parfois différer de celles des écoulements superficiels. On distingue généralement les bassins endoréiques, sans écoulement vers la mer, qui couvrent 11 % des terres émergées, des bassins exoréiques.

La forme du bassin versant, sa position par rapport aux flux de précipitations, sa couverture végétale et sa géologie, qui détermine la présence de nappes phréatiques, sont autant d'éléments déterminants pour connaître les ressources en eau disponibles. Les diverses combinaisons possibles font qu'il y a autant de « terroirs hydrologiques » que de bassins versants. Chaque BV (et sous bassin même) est donc unique.

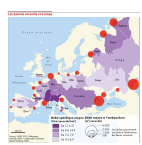
Les principaux bassins versants dans le monde

Trois critères sont généralement utilisés pour comparer les bassins versants : le débit brut ou module, exprimé en km³/an ou en m³/seconde ; la superficie ; et enfin le débit spécifique (DS), obtenu en divisant le débit par la superficie et exprimé en l/s/km².

Le débit spécifique. Ce dernier paramètre permet de comparer des fleuves dont les bassins versants ont des tailles différentes. Ainsi, le Nil a un bassin versant immense mais, traversant des régions peu arrosées, un débit à l'embouchure relativement faible (2 830 m³/s à l'entrée du delta) et un débit spécifique peu important. Les fleuves géants sont ceux qui combinent bassin versant étendu et débit spécifique important, comme l'Amazone (209 000 m³/s à l'embouchure), le Congo (42 000), le Yangzi Jiang (34 000) ou encore le Gange (16 000). Ces deux derniers sont des artères vitales pour des centaines de millions d'habitants, alors que les deux premiers sont des « fleuves du vide ».

La charge sédimentaire. Les bassins versants se différencient également en fonction de la charge sédimentaire transportée par les cours d'eau, en solution, en suspension (c'est cette charge composée de sables et de limons qui est le plus souvent responsable de la turbidité des eaux), ou en roulement pour les matériaux les plus grossiers (galets ou graviers). Ainsi le Huang He (appelé aussi fleuve Jaune) en Chine doit sa très forte turbidité au lœss qu'il arrache aux plateaux de son cours moyen. Avec 34 kg de charge en suspension par mètre cube d'eau, sa charge sédimentaire représente trois fois celle du Colorado et plus de vingt fois celle du Nil. De façon générale, les cours d'eau en région aride et semi-aride ont une charge sédimentaire en suspension très importante, alors qu'elle est très faible dans les régions équatoriales et dans les régions tempérées, sauf dans les zones de montagne. Ainsi la Seine à Paris a une charge sédimentaire en suspension inférieure à 0,2 kg par mètre cube. L'Amazone transporte entre 0,5 (période d'étiage) et 1,5 kg (période de crue) par mètre cube.

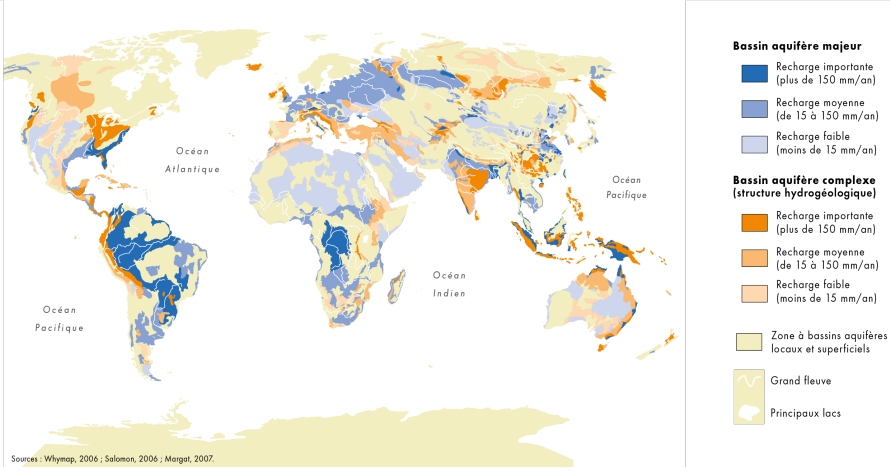
Le bassin versant : une unité de gestion commode. Ces flux d'eau et de matière dans les bassins versants expliquent l'importance de la continuité écologique pour le maintien de la biodiversité des bassins versants. Cela explique également pourquoi le bassin versant est aujourd'hui considéré comme l'unité « naturelle » la plus adaptée pour la gestion des cours d'eau. Les organismes de bassin, sur le modèle des Agences de l'eau en France (créées en 1964) se sont multipliés depuis une vingtaine d'années, y compris pour les grands fleuves transfrontaliers. Le Réseau international des organismes de bassin (Riob) compte à ce jour 134 membres venant de 51 pays.


Océan Atlantique
Mer Noire
Mer Caspienne
Volga
Rhône
Pô
Danube
Dvina
Petchora
Seine
Tamise
Rhin
Elbe
Vistule
Dniepr
Don
Kuban
Ural
Kamas
Ob
Yenisei
Lena
Amour
Mer Rouge
Nil
Congo
Zambèze
Orange
Indus
Gange
Mer Jaune
Yangzi Jiang
Mer Jaune
Mer Rouge
Mer Noire
Mer Caspienne

Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont bien moins connues que celles des eaux de surface et leur estimation précise est difficile. Elles forment la partie « invisible » du cycle de l'eau et représentent au moins 10 millions de km³. Selon les Nations unies, un quart de la population mondiale dépend des eaux souterraines pour son approvisionnement quotidien. Ce sont des ressources au débit naturellement stable, mais qui sont menacées par les pollutions et le surpompage.

Les ressources mondiales par nappe aquifère



Sources : Whymap, 2006 ; Salomon, 2006 ; Margat, 2007.

De l'eau des sols aux grands aquifères

Les précipitations ne ruisselant pas transitent d'abord dans le sol. On appelle capacité au champ le volume maximal d'eau que peut retenir le sol. Ce stock est utilisé par le système racinaire des végétaux (réserve utile) : une partie rejoint donc l'atmosphère par la transpiration des plantes, mais une autre peut s'infiltrer plus profondément et rejoindre les nappes phréatiques.

Dans ces dernières, l'eau est contenue dans les pores de la roche dite perméable. L'infiltration se poursuit verticalement jusqu'à ce que l'eau rencontre une roche imperméable, qui constitue le plancher de la nappe. La nappe est dite libre quand la roche perméable est en contact avec la surface, et captive lorsque des couches imperméables recouvrent la roche perméable. La contenance d'une nappe dépend de la porosité de la roche et de l'étendue des couches géologiques. Elle peut aller de quelques mètres cubes à plusieurs milliers de kilomètres cubes : en Amérique du Sud, l'aquifère du Guarani s'étend sur quatre États (Brésil, Paraguay, Uruguay, Argentine) et contiendrait près de 40 000 km³, pour une superficie de 1,2 million de km².

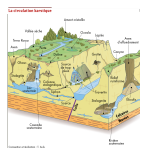
L'exploitation des eaux souterraines dépend de deux facteurs majeurs : la complexité des structures géologiques et la vitesse de recharge, exprimée généralement en millimètres par an. Dans les grands bassins sédimentaires, comme le Bassin parisien ou le Bassin aquitain, où les couches sédimentaires sont empilées de façon assez simple, les aquifères peuvent être très importants et facilement exploités. La ville de Bordeaux, par exemple, puise la majeure partie de son eau potable (150 millions de m³ par an) dans quatre nappes profondes : on y boit ainsi l'eau de pluie tombée sur le Périgord il y a plusieurs milliers d'années et qui a circulé dans les aquifères pour atteindre la Gironde. En revanche, l'exploitation des aquifères complexes ou à recharge faible peut se révéler vite problématique.

Une ressource fragile : les karsts

Lorsque les pluies tombent sur des roches carbonatées (calcaire, craie, dolomie, etc.), les eaux peuvent sculpter des reliefs impressionnants en surface et forment par dissolution des réseaux souterrains qui s'étendent parfois sur plusieurs centaines de kilomètres. Ce modelé karstique (du nom d'une région de Slovénie) se retrouve dans de nombreuses régions du monde, du Périgord, où se situent les célèbres grottes de Lascaux, à la baie d'Along au Viêt Nam, karst à tourelle, typique des climats tropicaux, ensuite ennoyé par la remontée du niveau des mers.

En surface, le réseau hydrographique n'est plus apparent, car les eaux s'infiltrent rapidement. Elles circulent alors dans les roches carbonatées et forment de véritables réseaux hydrographiques souterrains. Ces eaux ressortent au contact de couches imperméables et forment ainsi des sources karstiques (exsurgences ou résurgences) : c'est le cas par exemple de Fontaine-de-Vaucluse. Ce phénomène affecte de nombreux cours d'eau en milieu karstique : c'est parfois en détectant une contamination dans une résurgence et en identifiant sa présence qu'il a été possible de compléter la cartographie d'un réseau karstique. C'est ainsi que le lien entre le Doubs et la Loue a été établi en 1901, après l'incendie des usines Pernod de Pontarlier situées sur le Doubs, lorsque l'on retrouva, dans ce qu'on croyait être une source, des effluents de colorants et d'absinthe.

Les ressources karstiques se montrent aussi fragiles que les eaux superficielles et souvent plus difficiles à traiter, car les sources de pollution sont parfois lointaines, diffuses et mal connues. C'est le cas, par exemple, de la nappe de la Craie en Normandie et en Picardie, polluée par des rejets industriels et urbains anciens, mais dont les effets sont encore perceptibles aujourd'hui, et contaminée par les pesticides et les engrais utilisés actuellement par l'agriculture intensive.


Le circulation karstique
Neige et pluie
Pluie
Neige
Glace
Glacier
Cours d'eau
Lac
Mer
Cavernes
Grottes
Gouffre
Aquifère
Aquifère
Aquifère

Hautes et basses eaux

Les ressources en eau d'un pays ou d'un bassin versant sont souvent exprimées en moyennes annuelles, mais cela a, en fait, peu de sens pour la gestion réelle des cours d'eau. Ce qui importe, c'est l'eau disponible à un moment donné. Ce débit instantané est égal à la différence entre précipitation et évapotranspiration, pondérée par la variation des réserves (nappes et lacs principalement).

Les types de régimes

Chaque cours d'eau suit un rythme particulier déterminé par le rythme des précipitations et le fonctionnement de son « terroir » hydrologique, notamment des « réserves ».

Cependant, à l'échelle des grandes zones climatiques, le premier facteur est déterminant et permet de définir des grands types de régime hydrologique.

Ainsi, le régime tropical est marqué par les fortes pluies d'été et un étiage très fort pendant l'hiver. C'est le cas du Chari et du Brahmapoutre, que l'on retrouve dans tous les cours d'eau de la zone sahélienne, dont le Nil et ses affluents. Le régime méditerranéen montre au contraire un creux marqué pendant l'été, et deux périodes de hautes eaux au printemps et en automne. Le cas du Guadalquivir est exemplaire, mais l'on retrouve ce rythme dans tous les cours d'eau du pourtour de la Méditerranée., qui peuvent être sujets à des crues catastrophiques en automne et au printemps. Dans les deux cas, la différence entre les hautes et les basses eaux est forte.

Les cours d'eau en zone équatoriale sont bien plus pondérés : pour l'Amazone, la différence de régime entre les deux mois extrêmes n'est que de 1 à 2, pour l'Ogoué à Lambaréné (au Gabon) de 1 à 3. De même, la pondération d'une rivière de climat océanique, comme la Somme ou la Seine, est bien plus forte comparée aux cours d'eau méditerranéens comme le Guadalquivir. Le régime de la Kolyma en Sibérie, et plus généralement des cours d'eau des hautes latitudes, est influencé également par les températures : pendant les mois d'hiver, de novembre à avril, le débit est quasiment nul à cause de la rétention nivale et glaciaire, et devient très fort brutalement lors du dégel qui intervient en mai ou juin. On retrouvera le même type de fonctionnement dans les petits cours d'eau de haute montagne dans les Alpes.

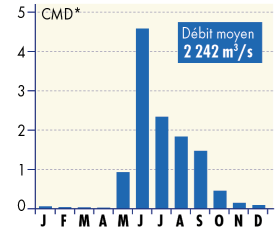
Bien entendu, il existe de nombreux cas particuliers qui font varier ces types selon la configuration du bassin versant, la possibilité de stockage dans un lac, ou encore la présence d'aquifères qui peuvent soutenir le débit. Enfin, le coefficient mensuel de débit (CMD) ne peut suffire à montrer toute la réalité hydrologique. Pour calculer la pondération, on peut aussi utiliser un calcul fondé sur le rapport entre les basses eaux (les dix jours les plus « secs ») et les hautes eaux (débit dépassé en moyenne dix jours par an). Dans ce cas, la différence entre les cours d'eau de types océanique et méditerranéen apparaît beaucoup plus nettement : il est de 1 à 10 pour les premiers (Seine à Paris), mais peut atteindre de 1 à 100 pour les seconds.

Plus les réserves sont importantes, plus la différence entre les hautes et basses eaux sera faible et plus le régime d'un cours sera pondéré : sa gestion sera *a priori* plus aisée.

Les grands types de régimes fluviaux

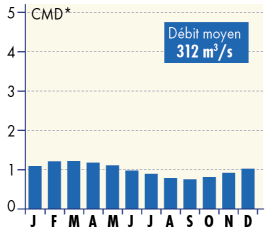
Continental-Hautes latitudes

Kolyma à Srednekolymsk (Russie)



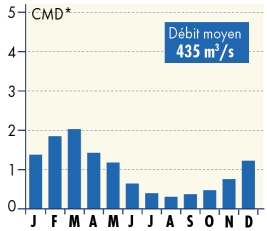
Océanique

Somme à Abbeville (France)



Méditerranéen

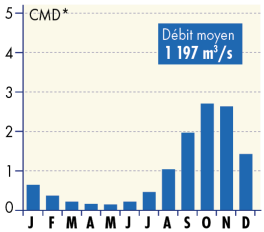
Guadalquivir (Espagne)



* CMD : coefficient mensuel de débit : correspond au rapport entre le débit mensuel et le débit moyen annuel.

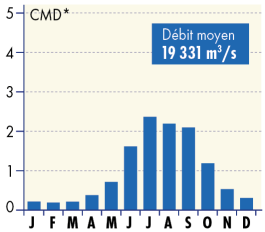
Tropical

Chari à N'Djamena (Tchad)



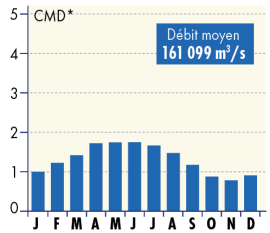
Tropical à mousson

Brahmapoutre à Bahadurabad (Bangladesh)

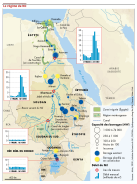


Équatorial

Amazone à Obidos (Brésil)



Sources : SHI et Unesco, 1999 ; WRI, Earth Trends.



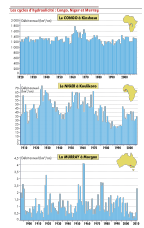
Les crues du Nil

Le régime hydrologique du Nil a laissé perplexes de nombreux savants de l'Antiquité. Ils ne comprenaient pas pourquoi la crue survenait à la fin de l'été, alors que les autres cours d'eau du bassin méditerranéen étaient à leur niveau le plus bas. Cela vient du fait que le régime du Nil au Caire est lié au rythme des précipitations qui s'abattent sur les hautes terres éthiopiennes de juin à octobre. C'est le Nil Bleu qui fournit l'essentiel de la crue du Nil. Le Nil Blanc, dont le régime est beaucoup plus pondéré, soutient le débit du fleuve pendant les mois d'hiver et de printemps. Sans lui, le débit du Nil en Égypte après sa traversée du désert du Sahara serait très faible.

Le Nil est un exemple de régime complexe, avec des influences venant de climats différents. Il en est de même pour de nombreux autres grands fleuves : ainsi, dans le bassin du Rhône, le régime alpin de l'Isère, avec un maximum de printemps, se combine avec le rythme océanique de la Saône (maximum d'hiver) et celui des affluents méditerranéens (maximum d'automne) pour donner un régime particulièrement complexe et pondéré lorsque le fleuve se jette dans la Méditerranée.

Sécheresses et inondations

Plus encore que la différence entre hautes et basses eaux, l'alternance entre sécheresses et crues est le facteur déterminant pour l'aménagement des cours d'eau, et généralement, plus la ressource est faible, plus elle est variable. C'est pour lutter contre la variabilité qu'on a construit des grands barrages, capables de stocker assez d'eau pour faire face à plusieurs années déficitaires ou capables d'arrêter des crues centennales.



Crues, sécheresses et cycles

Crues et sécheresses sont des phénomènes exceptionnels à distinguer des hautes et basses eaux, dont la récurrence est plus prévisible.

Les crues sont des gonflements occasionnels du débit d'un cours d'eau, caractérisées par leur période de retour : une crue dite décennale se produira dix fois en cent ans. Une crue centennale se représentera statistiquement dix fois en mille ans. Elle peut ainsi se produire deux ans de suite ou pas du tout pendant deux cents ans. Ainsi, le Rhône a connu deux crues majeures en 1840 et 1856, pendant lesquelles le débit à Beaucaire a dépassé 11 300 m^3 par seconde – soit le débit de pointe pour une crue centennale –, alors que son débit moyen annuel n'est que de 1 700 m^3 par seconde. Et ce n'est qu'en 2003 que ce débit a de nouveau été atteint, avec, comme dans les deux grandes crues précédentes, des conséquences catastrophiques. Dans tous les cas, c'est le débit de pointe, exprimé en m^3/s et traduit en hauteur d'eau à un point précis, qui est le facteur déterminant.

Les sécheresses connaissent aussi des périodes de retour dont la caractérisation est plus complexe. La sécheresse peut être définie comme le manque d'eau, pour une quantité donnée face à des besoins précis dans l'espace et dans le temps. On parle ainsi de sécheresse pédologique quand la réserve utile des sols est épuisée, de sécheresse phréatique lorsque les nappes s'épuisent et n'alimentent plus les sources et les puits, et enfin de sécheresse potamologique quand le débit des cours d'eau tend lui aussi vers zéro. Les grands barrages, digues et autres aménagements hydrauliques sont généralement conçus pour résister à des épisodes qui ont une période de retour de quelques décennies. Ils sont souvent pris en défaut par des épisodes qui ont une période de retour supérieure.

Des cycles plus complexes que d'autres

Les grands cours d'eau, notamment dans les régions tropicales, connaissent des fluctuations bien marquées, dont les causes et le rythme restent mal connus. Le cycle du Niger reflète ainsi les cycles de précipitations dans la région sahélienne. Un épisode particulièrement sec d'une trentaine d'années, de 1968 à 1994, a été précédé par une période plus humide, de durée équivalente. Il est encore trop tôt pour savoir si la reprise récente des précipitations depuis quelques années marque le retour d'une nouvelle période humide.

De façon générale, nos connaissances sur les cycles d'hydraulicité restent encore parcellaires. Par exemple, s'il a été possible de reconstituer l'évolution du lac Tchad, avec l'alternance de phases d'expansion et de périodes où le lac avait presque complètement disparu, aucune explication ne

permet de rendre compte de la cause de ces fluctuations. Cela rend difficile l'interprétation des évolutions actuelles du lac, où les facteurs anthropiques et naturels sont mêlés.

Mais cette incertitude doit également nous inciter à la plus grande prudence dans l'aménagement des cours d'eau. L'exemple du Colorado, aux États-Unis, le montre : les eaux du fleuve ont été partagées entre les États du sud-ouest en 1922, après une période particulièrement humide, en se basant sur des estimations trop optimistes. Aujourd'hui, alors que le débit est bien plus faible, cela génère de nombreux conflits.

El Niño

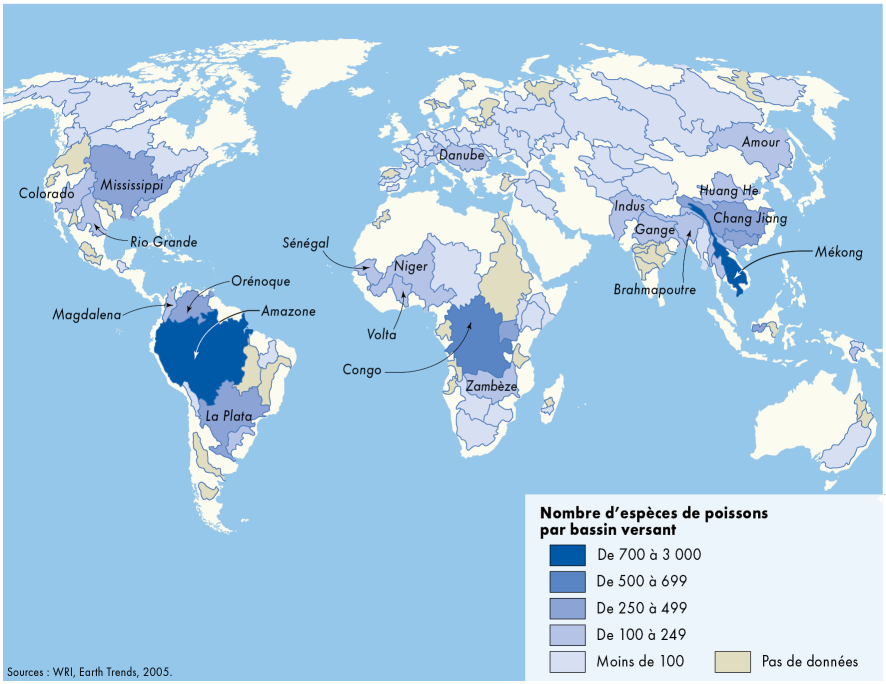
Le phénomène El Niño est la plus célèbre des oscillations climatiques entraînant un changement brutal des conditions météorologiques. Ce phénomène, qui apparaît autour de Noël (d'où son nom en espagnol, l'« Enfant-Jésus »), est une perturbation de la circulation générale des courants.

Normalement, le courant froid venu du sud, dit de Humboldt, accompagné de remontées d'eaux profondes très froides, l'*upwelling*, longe la côte péruvienne et poursuit ensuite sa route vers l'ouest, où il se réchauffe. Exceptionnellement, une à deux fois par décennie en moyenne, les courants s'inversent et ce sont des eaux chaudes venant de l'est du Pacifique qui arrivent sur le littoral de l'Amérique du Sud, causant des inondations catastrophiques. Cette inversion provoque des changements climatiques brutaux dans tout le Pacifique et plus largement dans tout l'hémisphère austral.

Des milieux riches et variés

Les milieux aquatiques et amphibies sont d'une grande richesse biologique. La diversité des styles fluviaux (à méandre, en tresse, en anastomose), des substrats (sable, gravier, roches), du type de végétation et la variation du niveau des eaux donnent naissance à une véritable mosaïque de milieux, juxtaposés dans un espace restreint et porteurs d'une très forte biodiversité. Ces écosystèmes sont généralement très productifs.

Diversité des espèces de poissons



Sources : WRI, Earth Trends, 2005.

Un fort endémisme, une ressource importante

La séparation naturelle entre les différents bassins versants favorise l'endémisme. L'Amazone comporte plus de 3 000 espèces de poissons, dont 1 800 endémiques ; le Congo, 700 espèces dont 500 endémiques. Les rivières européennes sont comparativement moins riches (43 espèces pour la Loire et une soixantaine pour le Rhône et le Rhin), mais le retour de certaines espèces emblématiques comme le saumon est un bon marqueur de l'amélioration de la qualité des eaux.

La pêche dans les lacs et les cours d'eau constitue une ressource de protéines vitale pour les populations riveraines dans les pays du Sud. La productivité des eaux continentales en poisson peut s'y révéler forte : ainsi le lac Tonlé Sap (Cambodge), qui sert de déversoir au Mékong, fournit jusqu'à 200 000 tonnes de poisson par an, soit 80 % de l'apport en protéines, aux 14 millions de Cambodgiens.

L'hydrosystème

Les cours d'eau forment un milieu complexe où des éléments (plantes, poissons, animaux aquatiques, roches et eau) de différentes tailles sont étroitement reliés par des processus physiques, chimiques et biologiques. Ces éléments s'emboîtent à différentes échelles, du microhabitat de quelques mètres carrés (un système racinaire) au secteur de plusieurs milliers de kilomètres carrés (une plaine à méandre).

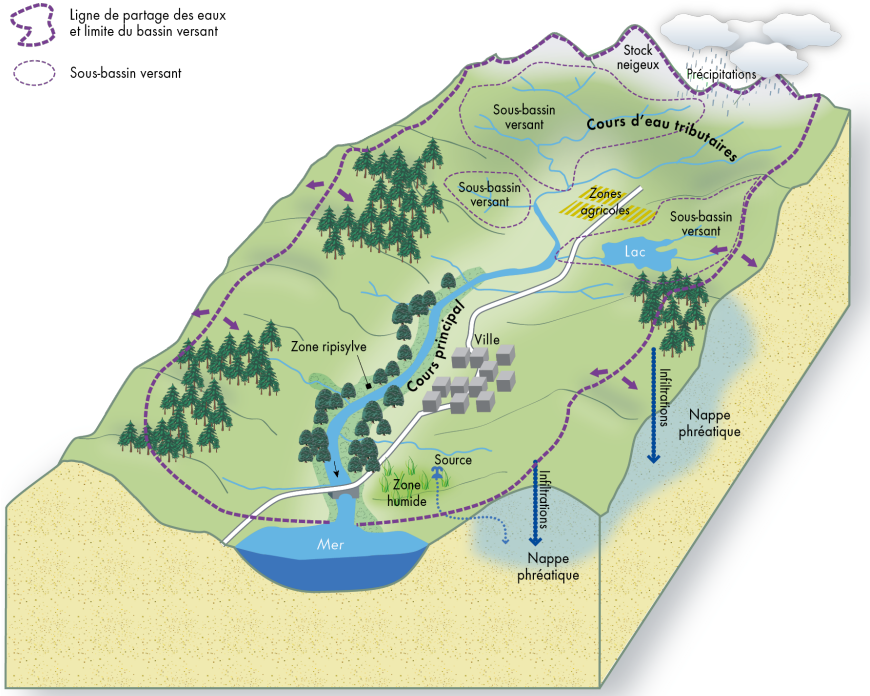
Le terme d'hydrosystème désigne cet ensemble d'interactions qui se déploient dans quatre dimensions. La première, la plus évidente, est le lien entre l'amont et l'aval, avec un rapport de dépendance marqué. La seconde est transversale, avec le passage progressif entre les milieux secs et les milieux humides. La troisième renvoie à la superposition verticale des écosystèmes de surface et souterrains. Et enfin, la dimension temporelle rappelle l'évolution différenciée des parties de l'hydrosystème. La diversité des milieux et leurs interactions forment une « mosaïque fluviale » qui explique la forte biodiversité.

Vulnérabilité, résistance, résilience

Les hydrosystèmes sont à la fois vulnérables, résistants et résilients. Leur vulnérabilité est due à leur complexité : une modification d'un élément entraîne des perturbations en cascade, avec des effets en retour pour tous les autres, que l'on appelle boucles de rétroaction. La résistance et la résilience sont liées à la fois à leur taille et à leur capacité d'auto-épuration.

Ainsi un grand lac ou des nappes profondes seront moins rapidement atteints par des polluants qu'un petit cours d'eau superficiel. De même, la présence de zones humides, qui fonctionnent comme les « reins » du cycle hydrologique, ralentit la contamination des milieux et leur permet de « récupérer » après une pollution. Au contraire, dans les zones arides endoréiques, la résistance et la résilience sont faibles : la dilution des polluants est difficile et les perturbations s'accumulent dans l'exutoire où ils ne sont pas dispersés, processus qui expliquent en partie la tragédie de la mer d'Aral. Mais, dans tous les cas, lorsque des seuils sont franchis (trop de barrages, trop de pollutions), les capacités de résistance et de résilience peuvent être annihilées : le fonctionnement des hydrosystèmes, dans toutes ses dimensions, est alors altéré, avec des conséquences néfastes souvent imprévues (le fonctionnement des boucles de rétroaction reste peu connu) et irréversibles.

Un bassin versant



EN CONCLUSION

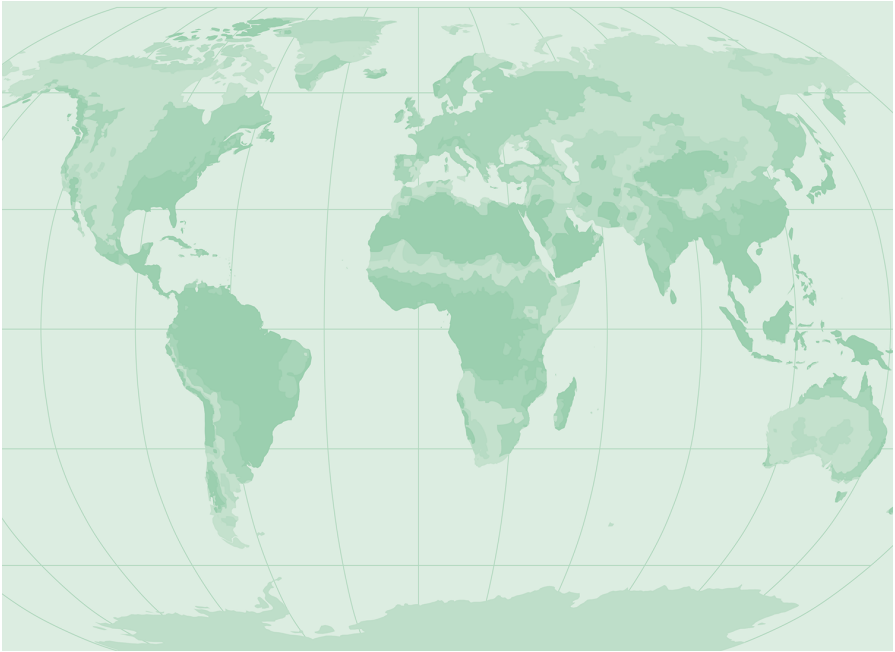
Une ressource irremplaçable

Une ressource unique

Principal constituant des êtres vivants (le corps humain est composé aux deux tiers d'eau), l'eau, ressource fragile et vitale pour les écosystèmes terrestres, possède des caractéristiques remarquables. Ses propriétés chimiques en font un support indispensable à la vie. Son rôle majeur dans les processus d'érosion, chimique et mécanique, lui donnent un rôle prééminent dans le façonnement des paysages terrestres.

Une ressource à protéger

Il est possible de substituer le charbon par le pétrole, le pétrole par le gaz ou l'électricité, mais rien ne peut remplacer l'eau. Si la ressource est polluée, rendue impropre pour les usages humains ou toxiques pour les écosystèmes, il faut investir des sommes considérables et attendre parfois des décennies pour en profiter à nouveau, sans être même sûr d'y parvenir. Même si les hydrosystèmes ont une capacité d'auto-épuration et de résilience qui leur permet de résister jusqu'à un certain point aux pollutions, leur protection est devenue un enjeu majeur des politiques publiques alors que les pressions sur la ressource s'accentuent.



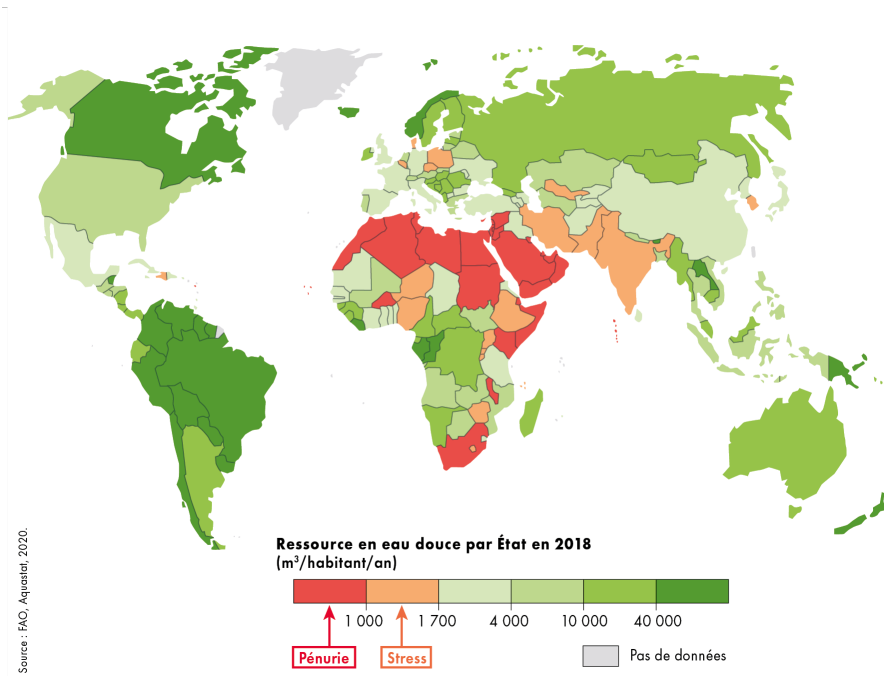
Mobiliser et utiliser l’eau

Il est relativement aisé de calculer le volume d’eau disponible par habitant pour tous les pays du globe. Mais il est beaucoup plus difficile de mesurer la capacité des États à mobiliser la ressource. Pour amener l’eau là où on en a besoin, quand on en a besoin, il faut posséder des savoir-faire techniques et des capacités financières suffisantes, mais aussi faire preuve d’une réelle volonté politique. C’est cette capacité à mobiliser la ressource qui est déterminante pour comprendre les grands enjeux actuels liés à l’eau. Certains pays très « pauvres en eau », comme Israël, Malte ou Singapour, réussissent à pourvoir aux besoins en eau potable de toute leur population et connaissent un développement économique rapide. D’autres, qui possèdent pourtant des ressources très abondantes, sont dans des situations difficiles. Au Mozambique par exemple, où les ressources par habitant sont trois fois supérieures à celles de la France, à peine plus de la moitié de la population dispose d’un accès minimal à l’eau potable.

Des États inégalement dotés

Pour apprécier les ressources renouvelables dans un endroit donné, un premier indicateur simple consiste à diviser le volume d'eau par le nombre d'habitants, en prenant comme base des unités administratives ou des bassins versants. Pour identifier des zones à risque, des seuils de vulnérabilité, de stress et de pénurie ont été fixés arbitrairement par l'hydrologue suédoise Malin Falkenmark à respectivement 2 500, 1 700 et 1 000 m3/hab./an.

La ressource en eau douce dans le monde



Source : FAO, Aquastat, 2020.

Un indice parlant, mais discutable

Au niveau mondial, quelques États disposent de ressources extrêmement abondantes : le Brésil (41 300 m³/hab./an), la Russie (31 000) et le Canada (78 000). À l'inverse, certains pays ont des ressources quasi nulles : c'est le cas du Koweït (5) et, plus largement, de tous les États de la péninsule arabique, de certaines îles comme les Maldives (58) ou Malte (115).

Une ceinture de la pénurie se dessine du Maroc au Pakistan, avec une extension qui descend le long de la façade orientale du continent africain. En revanche, les Amériques apparaissent relativement bien dotées, tout comme les États qui bordent le golfe de Guinée. En Europe, la situation est contrastée entre des États richement dotés (Norvège 73 600 m3/hab./an) et d'autres où la situation est plus difficile (Danemark 1 043 ; République tchèque 1 232).

Certaines situations peuvent paraître paradoxales. Elles s'expliquent souvent par la maille spatiale. Ainsi, la Namibie, largement désertique, a une disponibilité élevée (16 300) grâce à l'importance des

fleuves frontaliers que sont l'Orange, la Cunene et l'Okavango, qui coulent respectivement sur ses frontières sud, nord et est. De même, l'Australie présente officiellement des ressources abondantes (19 760 m³/hab./an), mais celles-ci sont concentrées essentiellement dans l'extrême nord et la frange orientale de l'île-continent. Les mêmes disparités internes affectent les États-Unis, la Chine et même le Brésil. La ressource en France est estimée à environ 3 250 m³/hab./an, mais atteint 5 400 dans le bassin versant du Rhône contre 1 400 dans celui du Rhin.

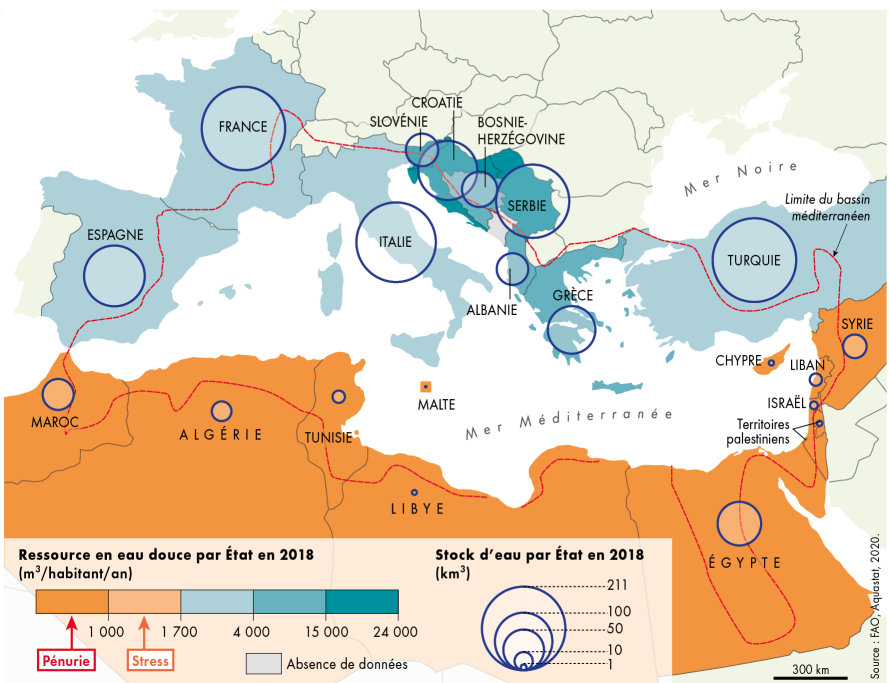
Enfin, il n'y a aucun lien entre le niveau de développement et la disponibilité en eau : on trouve des pays développés et des pays pauvres dans les situations potentielles de pénurie (Singapour et le Burkina Faso) comme dans les situations d'abondance (la Nouvelle-Zélande et le Laos).

La situation en Méditerranée et en Afrique

Autour de la Méditerranée, l'opposition nord/sud est très marquée : les pays de la rive nord ont globalement des ressources abondantes (18 400 m³/hab./an pour la Serbie, plus de 6 500 pour la Grèce), alors que les pays de la rive sud sont tous en dessous du seuil de stress, avec des situations critiques en Libye (104), Algérie (276) ou Tunisie (399). Il n'est dès lors pas étonnant que les projets de coopération entre les deux rives insistent sur l'importance de la gestion des ressources en eau. Mais, comme partout, ces chiffres bruts peuvent cacher des situations très différentes et doivent être interprétés avec précaution.

Il en est ainsi pour l'Afrique, où les situations les plus difficiles ne se situent pas forcément là où le laisse entendre la simple vision de l'indice proposé par Malin Falkenmark. Ainsi les pays du Sahel apparaissent selon cet indice en relativement bonne position, alors que les ressources sont très inégalement réparties sur le territoire et qu'elles sont marquées par une forte variabilité.

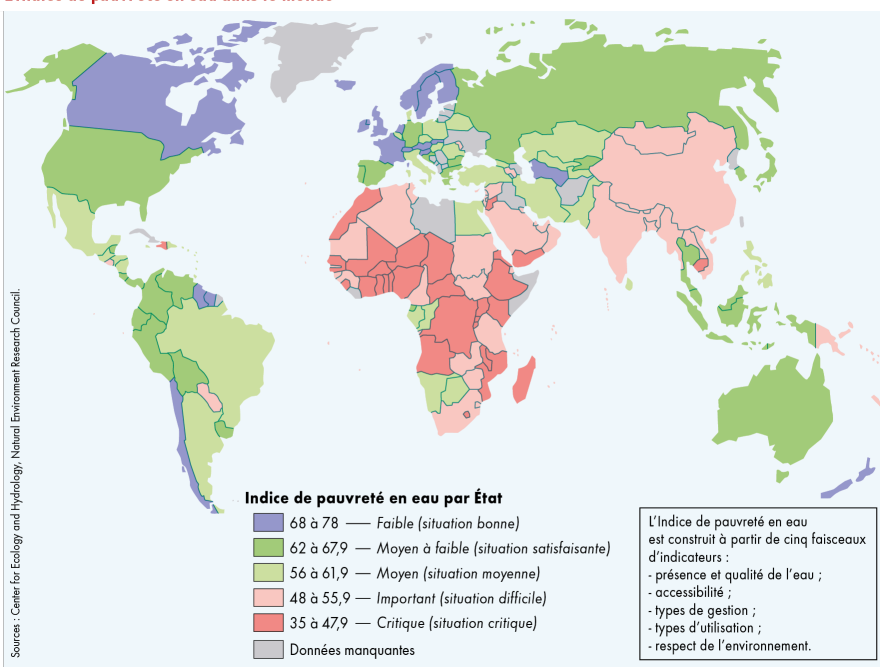
La ressource en eau douce dans le bassin méditerranéen



Des capacités de mobilisation très différentes

Les chiffres bruts de disponibilité en eau par habitant ne donnent qu'une vision schématique des problèmes potentiels liés à l'eau. Ils doivent être pondérés par la faculté d'adaptation des différents États à leur situation hydrologique naturelle. Cette capacité à « produire » de l'eau utilisable par les consommateurs là où ils en ont besoin et quand ils en ont besoin est plus difficile à appréhender.

L'indice de pauvreté en eau dans le monde



L'indice de pauvreté en eau (IPE)

Il est difficile d'estimer la capacité des États à construire des ouvrages hydrauliques ou à fournir une eau de qualité à toute leur population. Cela dépend de la richesse du pays, mais aussi de l'état de la ressource, des choix politiques, des structures sociales. La Banque mondiale utilise en première approximation le PIB.

Les chercheurs du Centre for Ecology and Hydrology de Wallingford (Royaume-Uni) ont proposé un nouvel indicateur en 2002 : le Water Poverty Index (indice de pauvreté en eau, IPE), qu'ils ont affiné les années suivantes. Certes imparfait, il permet cependant de mettre en lumière la diversité des situations lorsque l'on parle de pénurie d'eau.

L'IPE varie de 0 à 100, prenant en considération cinq facteurs : l'état de toutes les ressources, en

tenant compte de la variabilité ; l'accessibilité, notamment pour les usages domestiques, mais aussi pour les possibilités d'irrigation ou d'accès à l'eau « virtuelle » ; l'utilisation, sa répartition par domaine et son efficacité ; la capacité d'adaptation, comprenant la dépense des ménages, le PIB par habitant, la mortalité infantile, les investissements dans le domaine de l'eau ou encore l'existence de lois et d'institutions appropriées ; l'environnement, les besoins en eau pour la sauvegarde des habitats, la pollution de l'eau, l'érosion des sols et le risque de crue. Chaque critère se voit attribuer une note de 0 à 20. Le total est donné sur 100. Plus l'indice est bas, plus la situation est critique.

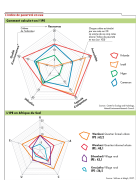
Certes imparfait, l'IPE permet cependant de mettre en lumière la diversité des situations lorsque l'on parle de pénurie d'eau.

Des inégalités marquées

Sur le planisphère de l'IPE, les pays développés apparaissent dans une situation plus favorable que selon l'indice de Falkenmark. Même ceux qui ont des ressources brutes limitées compensent par une capacité d'adaptation forte.

Ainsi l'ouest des États-Unis est la preuve qu'avec des ressources très faibles, mais des investissements financiers importants et l'utilisation des techniques les plus modernes, la pénurie d'eau peut être artificiellement « résolue ». Les pelouses de Los Angeles ou les fontaines de Las Vegas en sont le symbole le plus marquant. De même, les pistes de ski construites dans les émirats du Golfe, où la ressource est presque nulle, illustrent à l'extrême que la pénurie d'eau ne se conçoit que relativement à la capacité technique et économique et à la volonté politique de produire de l'eau, au prix parfois de désastres environnementaux.

En revanche, l'IPE fait ressortir la situation difficile des pays africains, qui est liée tout autant au manque de ressource qu'à la difficulté à la mobiliser. Seuls les pays du Sud où les ressources sont particulièrement importantes, notamment en Amérique latine, parviennent à avoir un IPE élevé. Cela ne signifie pas pour autant qu'ils ne connaissent pas de problèmes liés à l'eau, mais plutôt qu'avec des investissements suffisants et des politiques adaptées, leurs problèmes sont potentiellement résolubles.



Des situations contrastées

L'intérêt de l'IPE est qu'il permet de distinguer des pays ayant des indices globaux semblables. Ainsi, le cas d'Israël et celui du Cameroun sont opposés, alors que leur IPE global est presque similaire. Seule l'indigence des ressources d'Israël explique que son IPE se situe bien en deçà de celui des autres pays développés ; l'accessibilité et la capacité d'adaptation y sont du même ordre. En revanche, les ressources du Cameroun sont relativement élevées, mais la capacité de ce pays à les mobiliser est faible. Deux autres cas de figure se présentent. Le premier est celui de la Finlande, où tous les indicateurs sont positifs et qui a donc l'IPE le plus élevé (78). À l'opposé, le Niger cumule à la fois des ressources faibles et des difficultés techniques et financières pour les mobiliser.

L'IPE peut aussi être calculé à des échelles plus fines. Ainsi, comme le montre l'exemple sud-africain, il peut varier fortement, dans une même région, entre zones urbaines et rurales, et également selon le niveau de développement, entre quartiers formels et informels.

Une mise en valeur ancienne

La maîtrise de l'eau est un souci très ancien. Les premiers puits datent d'au moins 8 000 ans avant notre ère, les premières traces d'agriculture irriguée du cinquième millénaire avant notre ère en Mésopotamie, et du troisième millénaire dans les Andes et dans la vallée de l'Indus. Ces innovations sont souvent nées dans des régions où les ressources en eau étaient peu abondantes et où les précipitations pouvaient faire défaut, puis progressivement diffusées à l'ensemble du globe.

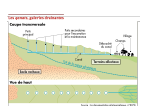
La diffusion des innovations

Les grandes civilisations de l'Antiquité, de l'Égypte à la Chine, jusqu'à la Rome antique, se fondaient souvent sur une maîtrise poussée des ressources en eau, pour l'agriculture, le creusement de canaux à vocation commerciale (le Grand Canal en Chine) ou la construction d'aqueducs pour alimenter les populations urbaines (les aqueducs romains).

Il existe au moins sept grands foyers d'innovation – le bassin méditerranéen, l'Asie centrale, la Mésopotamie, l'Inde et le Sri Lanka, la Chine, les Andes et l'Amérique centrale – qui ont ensuite diffusé leurs techniques. Toutes les grandes découvertes hydrauliques ont connu trois phases : l'invention proprement dite, l'adoption par une « grande civilisation » qui la diffuse dans son aire de rayonnement, à la faveur d'échanges commerciaux mais aussi de conquêtes militaires, et enfin l'appropriation et l'amélioration dans des foyers secondaires, avec parfois un retour au point d'origine.

Dans l'Antiquité, la technique de l'aqueduc, très ancienne et perfectionnée dans les cités grecques, se diffuse ainsi au rythme des armées romaines ; conservée dans l'est de la Méditerranéenne, elle est revenue en Espagne avec la conquête musulmane. À la Renaissance, les barrages modernes, à partir des foyers ibériques et perses, se sont répandus d'abord dans tout le bassin méditerranéen, puis dans les grands empires coloniaux. Les ingénieurs hydrauliciens britanniques faisaient ainsi le tour de l'Empire, appliquant en Afrique du Sud ou en Australie ce qu'ils avaient vu en Égypte ou en Inde.

Ces constructions anciennes sont remarquables : le Grand Canal en Chine est toujours utilisé, les aqueducs romains encore partiellement debout, la continuité de l'irrigation dans la vallée du Nil, même si les techniques ont changé, s'étend sur plus de cinq mille ans. Cet exemple de développement durable sera-t-il égalé par les ouvrages contemporains ?



Les *qanats*

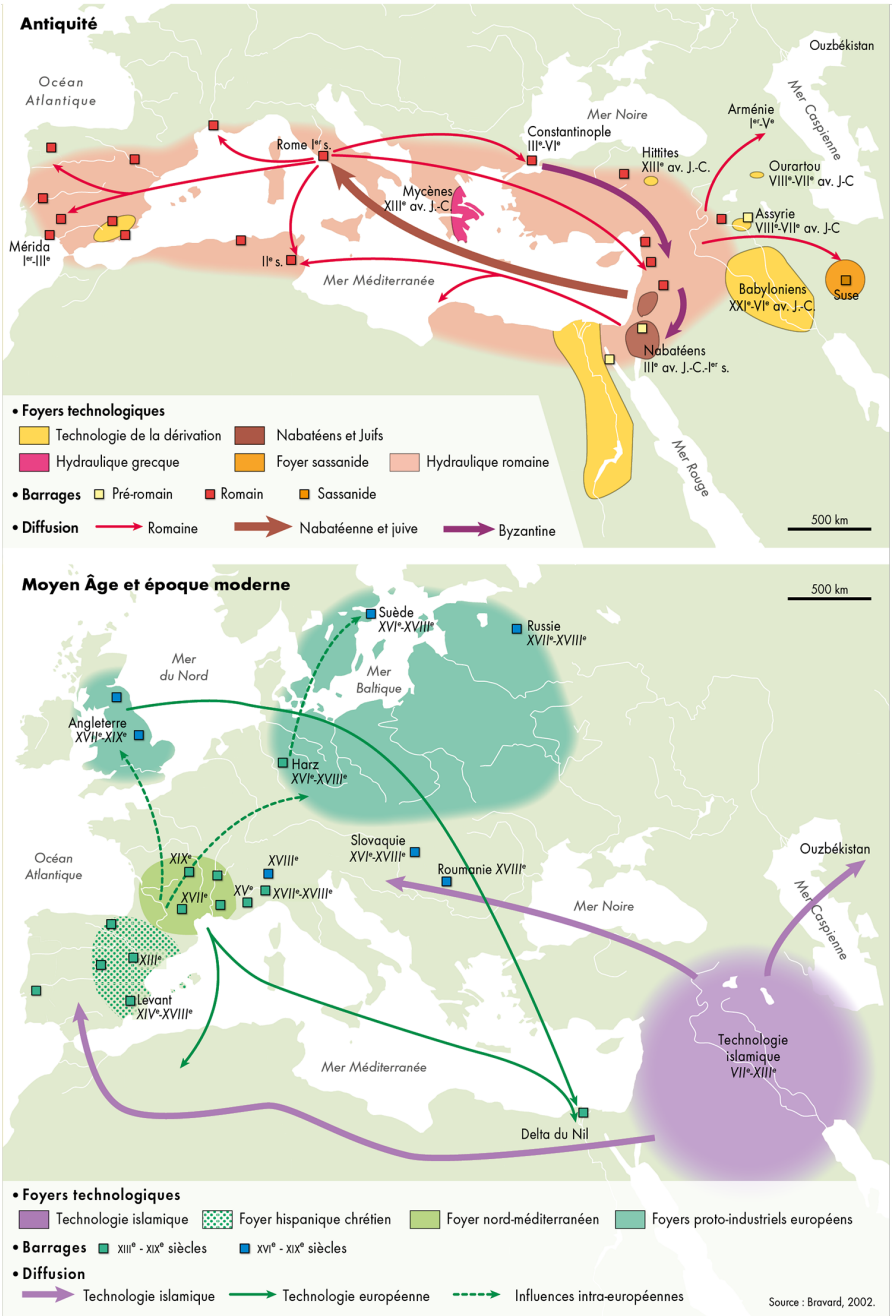
La technique des *qanats* (ou galeries drainantes, appelées aussi *karez* en Asie centrale, *khettara* ou *foggara* au Maghreb) est probablement née dans l'Empire perse il y a au moins 3 000 ans.

Le système repose sur un tunnel qui capte les eaux d'une nappe phréatique en amont (dans les sédiments meubles des piémonts des chaînes de montagne) et les conduit jusqu'aux oasis situées dans les zones désertiques de plaine. La pente du tunnel d'un diamètre d'environ un mètre est calculée pour que les eaux s'écoulent suffisamment rapidement, mais sans fragiliser les parois. Des regards sont placés à intervalles réguliers pour accéder au tunnel : c'est la seule marque visible en surface du *qanat*.

Depuis l'Iran (où il en existe encore 21 000), la technique s'est diffusée dans toute l'Asie centrale, l'Arabie et en Afrique du Nord. Les plus grands mesurent 50 km et sont profonds de près de 300 m. Ces ouvrages sont conçus pour ne pas surexploiter la nappe phréatique et ils ont permis le

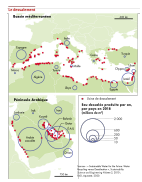
développement d'oasis, notamment le long de la route de la Soie, pendant des millénaires. Ils sont aujourd'hui remplacés par des pompages qui pourraient épuiser très vite la ressource.

Les grandes civilisations hydrauliques



Les techniques modernes

La révolution industrielle a introduit un changement d'échelle dans les techniques hydrauliques : ce sont toujours des barrages, des canaux, des aqueducs, mais leur taille, leur longueur n'ont plus rien de comparable avec les plus imposants ouvrages des grandes civilisations hydrauliques antiques : il est possible de retenir l'équivalent de trois crues du Nil ou de détourner des fleuves sur des centaines de kilomètres en franchissant des montagnes.



Les très grands barrages

Les premiers très grands barrages datent des années 1930 : Hoover Dam sur le Colorado (1935, 35 km³) et Rybinsk sur la Volga (1935-1947, 25 km³). Ces ouvrages dits « à buts multiples » servent pour l'agriculture, l'hydroélectricité, la régulation des sécheresses et des crues ou l'alimentation des villes).

Dans les années 1950 à 1970, une deuxième génération de grands barrages apparaît dans les pays du Sud, notamment en Afrique : l'exemple type est celui d'Assouan (1970, 162 km³), mais Akosombo (1965, 148 km³) ou Kariba (1959, 160 km³) ne sont pas moins impressionnants. Objet de nombreuses critiques, moins de grands barrages ont été construits dans les années 1990 et 2000. Mais ils retrouvent aujourd'hui la faveur de pays en développement, grâce à la production hydroélectrique, comme le montre le barrage de Grande Renaissance en Éthiopie.

La « mission hydraulique »

La mise en œuvre d'un grand projet d'aménagement hydraulique est le fruit de la rencontre entre un savoir-faire technique, une volonté politique et des capacités d'investissement.

Au début du XXe siècle, ces trois éléments étaient réunis en Europe et aux États-Unis. La Tennessee Valley Authority (TVA), créée le 18 mai 1933, en constitue le parfait exemple. Premier aménagement complet d'une grande rivière, avec 29 grands barrages, la TVA symbolise la volonté de maîtriser un fleuve réputé indomptable, mais aussi de promouvoir le bien-être des populations riveraines, voire de façonner un « homme nouveau ».

Le modèle de la TVA sera repris dans de nombreux pays, notamment en URSS (aménagement de la Volga puis des fleuves sibériens), et dans tous les pays du Sud après leur indépendance. Le but est de modifier profondément la géographie de régions entières, de détourner des fleuves sur des centaines de kilomètres, de faire « fleurir le désert ». On assiste alors à une véritable « mystique des grands travaux » qui se poursuit dans les pays émergents, comme le montre la construction du barrage des Trois Gorges en Chine.

Le dessalement : solution miracle ou utopie ?

97,5 % de l'eau sur terre sont salés : rendre douce cette masse d'eau résoudrait définitivement tous les problèmes de pénurie.

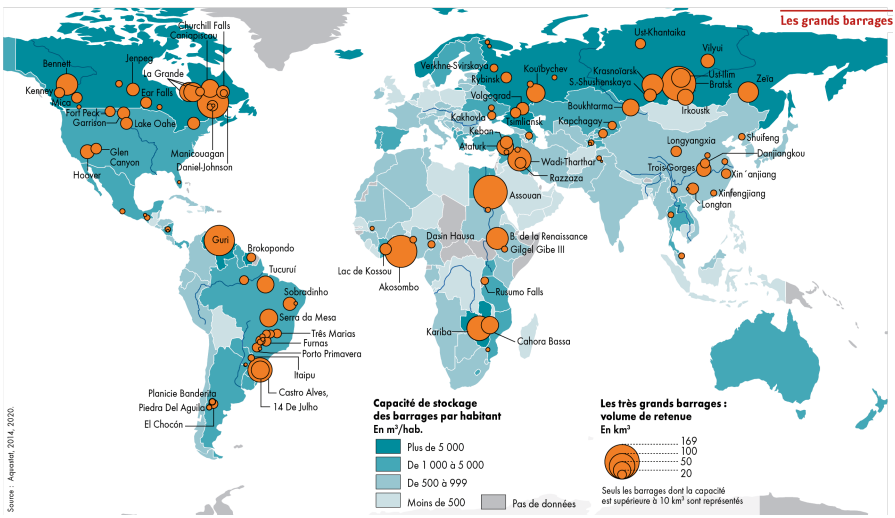
Développées depuis une quarantaine d'années, des techniques économiquement abordables sont utilisées aujourd'hui pour alimenter plusieurs grandes villes du monde et à grande échelle dans la péninsule Arabique : on compte 18 500 usines dans le monde réparties dans 120 pays, qui apportent de l'eau à 300 millions de personnes. Deux techniques existent : la distillation et l'osmose inverse. La distillation consiste à porter l'eau de mer à ébullition pour évaporer l'eau douce qui y est contenue.

Celle-ci est ensuite condensée puis reminéralisée. Avec l'osmose inverse, on applique à de l'eau de mer préalablement traitée une pression suffisante pour la faire passer à travers une membrane que seules les molécules d'eau peuvent traverser.

Le dessalement est présenté comme une solution alternative, notamment pour les villes du Sud. Il évite la construction de grands barrages ; la disponibilité est illimitée ; et cela permet de réserver les eaux douces continentales à l'agriculture. Cependant, le problème principal est le coût énergétique, même s'il a baissé de 12 à 2 kWh/m³ entre 1970 et 2015.

Le prix total de l'eau dessalée, indexé sur celui de l'énergie, reste au moins deux à trois fois plus cher que celui des ressources classiques. Ce n'est pas un problème dans les États pétroliers, mais le dessalement demeure inabordable pour la plupart des ménages des villes africaines et sud-américaines. Cela reste donc une solution limitée aux villes riches et, en tout état de cause, qui ne peut subvenir aux besoins de l'agriculture.

Un autre enjeu actuel est de « décarboner » le dessalement, notamment en le couplant à des centrales solaires. Mais cela reste difficile et limité.



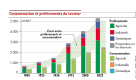
Prélèvements et consommation (1) : données générales

Le rapport entre prélèvements et ressource brute est un bon indicateur de la pression sur les ressources en eau dans un pays donné. Les États où les prélèvements dépassent, en moyenne, 50 % de la ressource rencontrent des problèmes aigus lors de périodes de sécheresse prolongée. Ils sont donc potentiellement très vulnérables aux aléas du climat, même si leur capacité d'adaptation est importante.

Des prélèvements à la consommation : quantité et qualité

Une distinction très importante doit être faite entre prélèvements et consommation. Les prélèvements désignent le volume d'eau captée dans les cours d'eau ou les nappes phréatiques pour un usage agricole, industriel ou domestique. L'eau de pluie utilisée directement par les cultures n'est pas comptabilisée. Une partie de l'eau prélevée est rendue au milieu. Cette proportion peut aller de 97 % pour l'eau utilisée pour le refroidissement des centrales nucléaires à quelques pour cent seulement dans l'agriculture irriguée moderne, où presque toute l'eau est utilisée par les plantes.

Seule l'eau non rapidement restituée (le plus souvent évaporée ou incluse dans le produit final) est considérée comme consommée. Il est donc tentant de ne considérer que la consommation. Mais l'eau prélevée et rendue au milieu y retourne parfois avec une qualité très dégradée à cause de son utilisation (égouts non ou mal traités des villes, pollutions agricoles, modification de la température de l'eau pour les centrales nucléaires) .C'est pourquoi les deux données sont étudiées.



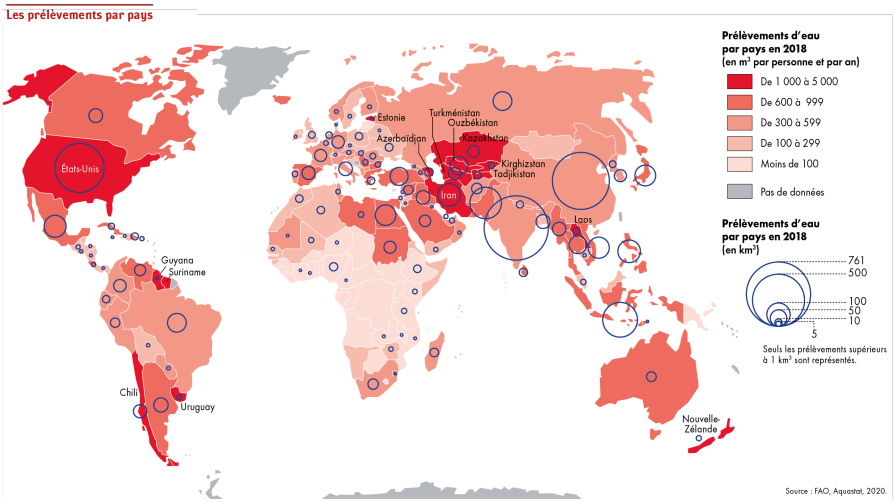
Le poids des prélèvements agricoles

Le volume total prélevé au niveau mondial est, en 2021 de 4 300 km³ selon la FAO, soit 535 m³/hab./an, ou 10 % des ressources renouvelables. L'essentiel des prélèvements est destiné à l'agriculture (69 %), le reste se partageant entre les usages industriels (19 %) et domestiques (12 %). Historiquement, les prélèvements ont été multipliés par 8 depuis 1900, avec une forte accélération après la Seconde Guerre mondiale. Mais ils ont tendance à se stabiliser depuis 30 ans, avec une augmentation moins rapide que celle de la population mondiale. Depuis les années 2000, ce sont les prélèvements pour la consommation domestique qui augmentent le plus rapidement, ce qui reflète non seulement la croissance de la population mondiale, mais aussi l'urbanisation et la hausse du niveau de vie, notamment dans les pays du Sud.

Ces chiffres globaux masquent une grande diversité régionale. L'agriculture représente plus de 80 % des prélèvements en Asie et en Afrique, et près de 71 % en Amérique latine. Pour la consommation, le poids de l'agriculture y est tout aussi important. Dans les pays développés, en revanche, les prélèvements industriels dominent (54 % pour l'Europe et 53 % pour l'Amérique du Nord) et les usages domestiques y sont aussi relativement importants (respectivement 213 % et 15 %).

La carte des prélèvements par habitant reflète également le poids de l'agriculture irriguée. On voit ainsi apparaître les républiques d'Asie centrale (plus de 2 000 m³/hab./an), l'Australie ou encore les pays méditerranéens. Un facteur secondaire de fort prélèvement est lié à l'importance des dérivations pour l'hydroélectricité : cela explique la position du Canada. Le cas des États-Unis est particulier, puisqu'il combine à la fois une agriculture irriguée importante, notamment dans l'Ouest et le Midwest, une utilisation industrielle encore forte et des prélèvements pour les usages domestiques plus importants que dans d'autres pays développés. La France, avec plus de 500 m³/hab./an prélevés, tous usages confondus, se situe dans la moyenne des pays de l'Europe du Nord-Ouest, mais se distingue par l'importance des prélèvements industriels (plus de 75 %) destinés principalement au refroidissement

des centrales nucléaires.



Exploiter les ressources fossiles

Certains pays utilisent plus d'eau que la part naturellement renouvelable grâce à l'exploitation minière de ressources dites « fossiles », souvent de vastes aquifères formés pendant les périodes plus humides. Les Libyens exploitent ainsi le système aquifère du Sahara septentrional qui contient plus de 300 km³ d'eau avec la « Grande Rivière artificielle » qui traverse 2 000 km de désert pour apporter de l'eau à la côte.

Prélèvements et consommation (II) : le secteur agricole

Les terres équipées pour l'irrigation couvrent 340 millions d'hectares, soit 20 % des terres cultivées. Mais elles fournissent 40 % de la production agricole mondiale. C'est dire l'importance de l'agriculture irriguée dans le bilan agricole mondial : la croissance de la production ne pourra se faire sans l'aide de l'irrigation. On assiste d'ailleurs à une augmentation continue des surfaces irriguées, de 196 à 340 millions d'hectares équipés de 1973 à 2020.

Une culture irriguée intensive

Le campo de Dalias est une petite plaine côtière qui se trouve à environ 30 km d'Almería, dans le sud-est de l'Espagne. Jouissant d'un climat très ensoleillé et très sec, abritée des vents du nord par la Sierra de Gador, cette région autrefois très pauvre a connu un développement rapide depuis une cinquantaine d'années, qui a été accéléré par l'entrée de l'Espagne dans la CEE en 1986. Il est fondé sur la culture irriguée intensive de fruits et légumes de contre-saison destinés aux marchés de l'Europe du Nord. L'eau est pompée dans les aquifères pour alimenter près de 20 000 hectares de serres où travaille une nombreuse main-d'œuvre immigrée.
Aujourd'hui, cette région souffre de problèmes environnementaux et de la concurrence des pays du Maghreb.

Le développement de l'irrigation

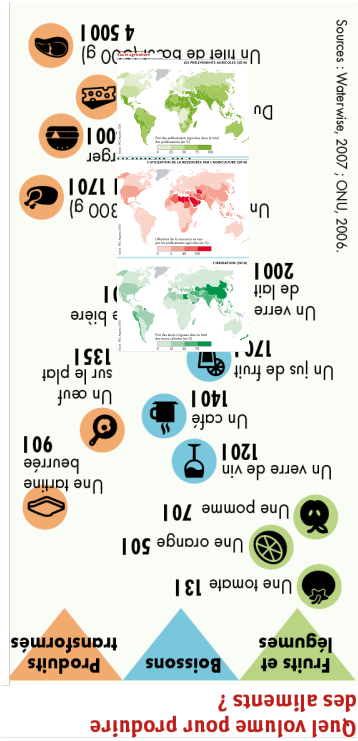
Sur le planisphère de l'irrigation par États, quelques régions ressortent clairement. Certains sont très anciens : l'Asie orientale et le monde indien et ses espaces de riziculture irriguée ; l'Asie centrale et ses oasis ; les grands périmètres irrigués du bassin méditerranéen. D'autres sont apparus au XXe siècle : l'Ouest américain, l'Australie ou encore l'Afrique du Sud.

Une carte plus détaillée montrerait que l'essentiel des zones irriguées ne concerne en fait que des espaces très restreints : les plaines de l'Indus et du Gange, l'Asie du Sud-Est et de l'Est, avec une concentration particulière dans les grands deltas, le long de quelques grands fleuves au Moyen-Orient et en Afrique du Nord (Tigre, Euphrate, Nil).

Autrefois concentrée dans quelques régions et limitée à quelques cultures spécifiques (riz en Asie, agrumes au bord de la Méditerranée), l'agriculture irriguée se répand aujourd'hui hors de ses zones traditionnelles : la superficie équipée pour l'irrigation au Danemark a ainsi été multipliée par 3,5 et 2019 pour atteindre 350 000 hectares. L'irrigation est utilisée pour de nombreuses cultures, pour augmenter et stabiliser les rendements d'une année sur l'autre. De plus, de nombreux périmètres irrigués plus anciens se modernisent et change de culture. On trouve ainsi de la vigne irriguée en Afrique du Sud, des cultures de bananes au Maroc, des amandiers ou des noix de pécan en Californie, des roses en culture hors-sol au Kenya. L'agriculture irriguée est sans doute celle qui est la plus intégrée aux marchés mondiaux.

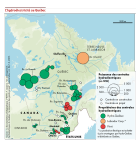
En France, la superficie irrigable est ainsi passée de 1,8 à 2,8 millions d'hectares de 1988 à 2013 (+ 55 %). Le taux de progression maximal ne concerne pas les régions méditerranéennes ou le Bassin aquitain, mais le sud du Bassin parisien, et plus particulièrement la Beauce : plus de 30 % de la surface

agricole utile sont irrigués dans le Loiret.



Prélèvements et consommation (III) : le secteur industriel

L'eau a été indispensable à la révolution industrielle : pour l'énergie, avec l'équipement en centrales des torrents de montagne puis, au XXe siècle, la construction de barrages hydroélectriques ; pour la production de vapeur et le refroidissement des machines ; enfin, comme solvant dans nombre de processus chimiques. Avec le développement économique, les prélèvements d'eau pour l'industrie sont aujourd'hui en rapide expansion dans les pays du Sud.



Une volonté politique

À partir de 1950, Hydro-Québec se lança dans la construction de grands projets sur les affluents du Saint-Laurent. Ces projets avaient un but économique – répondre à l'explosion de la demande en énergie électrique d'une économie en forte croissance –, mais aussi politique. Ainsi, Jacques Lesage, Premier ministre libéral du Québec, déclara novembre 1962 : « Il faut rendre au peuple du Québec ce qui appartient au peuple du Québec ; son plus riche patrimoine, celui de l'électricité. C'est maintenant ou jamais que nous serons maîtres chez nous ».
Les années 1970 virent un développement encore plus spectaculaire avec le projet de la Baie James, qui s'articule autour de la rivière La Grande. Il comprend la construction de huit centrales, le détournement de plusieurs cours d'eau, sur un territoire de près de 350 000 km².

Des situations variées

Dans le secteur industriel, le rapport entre prélèvements et consommation peut très fortement varier. Dans la production d'électricité, les prélèvements sont très importants, mais la consommation reste généralement faible : la seule partie consommée dans les centrales nucléaires est l'eau qui s'évapore dans les circuits de refroidissement, soit moins de 5 % de l'eau prélevée.

En revanche, dans certaines industries comme les papeteries, le volume d'eau consommé par rapport au prélèvement peut être plus important, et la qualité de l'eau restituée au milieu très dégradée si un traitement adéquat n'est pas effectué.

Avec les progrès techniques, il est possible de réduire les prélèvements et la consommation, tout en améliorant la qualité de l'eau rejetée : ainsi, selon le procédé de fabrication mis en œuvre, le volume d'eau nécessaire à la fabrication de certains objets peut varier de 1 à 10.

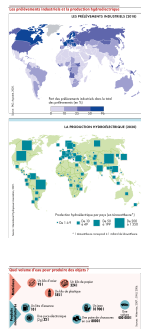
C'est donc un secteur où des économies d'eau importantes peuvent être réalisées rapidement à un coût acceptable : dans les pays du Nord, à production constante, l'eau prélevée et consommée par l'industrie a diminué depuis 1970.

Un contraste Nord/Sud marqué

Au niveau mondial, les prélèvements industriels représentent 768 km3/an, soit 19 % des prélèvements totaux. 60 % des prélèvements industriels sont concentrés en Europe et en Amérique du Nord – les États-Unis prélevant à eux seuls 248 km³/an. Le poids de l'Asie augmente rapidement, notamment celui de la Chine, qui prélève déjà 190 km³ en 2020, contre seulement 45 en 1980 et 92 en 1993. L'Inde (50 km³/an) suit un rythme de progression similaire. Contrairement à l'Europe et à l'Amérique du Nord,

la part de l'industrie dans ces deux pays reste minoritaire eu égard au poids de l'agriculture irriguée.

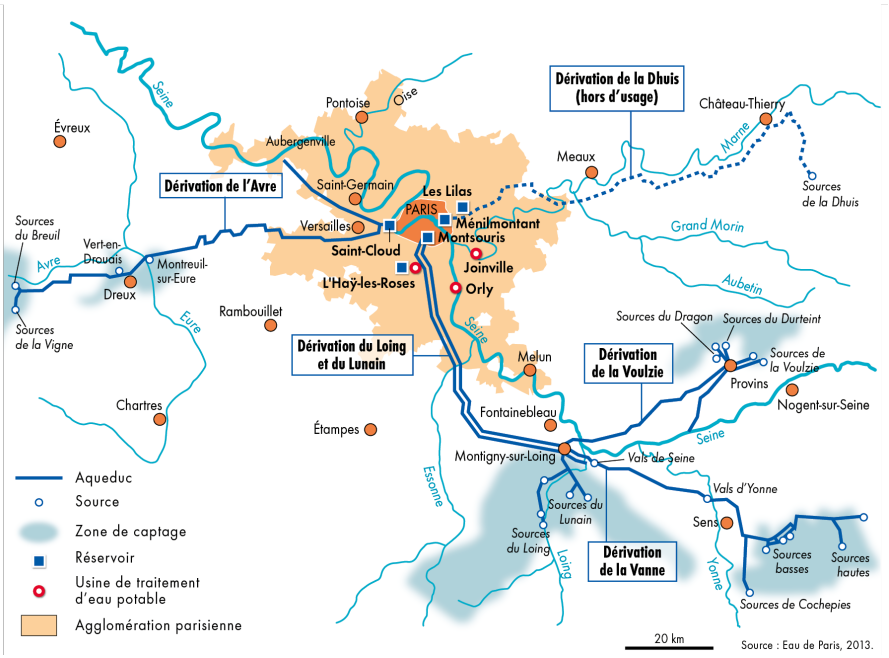
Une mention spéciale doit être faite à l'hydroélectricité, énergie renouvelable, qui couvre presque la totalité des besoins de pays comme la Norvège ou la Nouvelle-Zélande. La puissance hydroélectrique installée dans le monde était estimée à 1 330 gigawatts (GW), soit environ 16 % de l'énergie électrique produite. Les pays européens comme la France (12e producteur mondial, 25 GW installés) sont presque entièrement équipés, mais il reste de nombreux sites potentiellement exploitables dans les quatre principaux pays producteurs que sont la Chine (370 GW installés), les États-Unis (102), le Brésil (109) et le Canada (82).Toutefois, si cette énergie est renouvelable, ses impacts écologiques sur les cours d'eau sont souvent massifs, ce qui explique les fortes résistances face à la construction de nouvelles centrales.



Prélèvements et consommation (IV) : l'eau domestique

Le poids des prélèvements destinés à l'eau potable reste marginal au niveau mondial. Il connaît deux évolutions radicalement opposées. Dans les pays développés, où l'accès à l'eau potable est généralisé, la consommation urbaine tend à se stabiliser, voire à décroître. En revanche, dans le reste du monde, les prélèvements augmentent rapidement, poussés par la croissance de la population et, dans certains cas, par l'amélioration du niveau de vie.

Le réseau d'adduction d'eau domestique de la ville de Paris



Un accès inégal

L'eau domestique ne représente qu'un dixième des prélèvements au niveau mondial. Ce taux varie de quelques pour cent dans les pays les plus pauvres à généralement 10-20 % dans les pays développés.

Les besoins quotidiens minimaux, pour la cuisine et l'hygiène, sont estimés à 25 litres par jour et par personne. Un réel confort n'est atteint qu'à partir de 100 litres par personne et par jour. Tous les pays développés se situent au-dessus de cette limite. Les plus sobres n'utilisent en moyenne qu'à peine plus (Belgique : 112), les plus dispendieux allant jusqu'à plus de 200 (Canada : 326 ; États-Unis : 295 ; Japon : 278).

La carte mondiale de l'accès à l'eau reflète assez fidèlement les niveaux de développement. Pour l'eau potable, les pays du Nord disposent d'un accès universel, généralement garanti par la loi, avec un service continu et de bonne qualité. À l'opposé, les taux d'accès sont très faibles dans les pays les plus pauvres, avec un service souvent discontinu (l'eau n'est disponible qu'à certaines heures et peut être coupée pendant plusieurs jours) et de qualité variable, le plus souvent non potable.

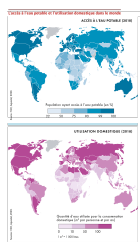
Les eaux de Paris

Paris est dans une situation relativement favorable, puisque la région dispose de cours d'eau importants et de ressources souterraines. Pourtant, jusqu'au XIXe siècle, l'adduction d'eau fut un problème majeur, tant pour la quantité que pour la qualité. Avec l'augmentation de la population, les systèmes traditionnels (porteurs d'eau, fontaines publiques) ne furent plus en mesure de maintenir une hygiène minimale dans la capitale. Ce sont d'ailleurs les épidémies de choléra qui vont convaincre les pouvoirs publics d'apporter une solution à ce problème récurrent.

Du milieu du XIXe siècle aux années 1920, les efforts sont centrés sur l'adduction d'eau, avec la captation des eaux sources lointaines (Avre, Vanne, Loing et Dhuis notamment), acheminées par de longs aqueducs jusqu'aux principaux réservoirs. Ces sources représentent encore près de la moitié de l'eau consommée aujourd'hui à Paris intra-muros. L'autre moitié provient d'usines de traitement situées juste en amont, à Ivry sur la Seine et à Joinville sur la Marne, construites respectivement en 1890 et 1893. L'usine d'Orly, mise en service en 1969, complète le dispositif.

À partir de 1930, l'investissement s'est concentré sur le traitement des eaux usées, avec la construction de l'usine d'assainissement d'Achères (1940), une des plus grandes du monde, sans cesse modernisée et agrandie au fur et à mesure que les standards de dépollution des eaux augmentent.

Depuis une trentaine d'année, comme dans toutes les villes européennes, la consommation totale de la ville diminue, grâce aux améliorations techniques des réseaux comme des appareils ménagers et à la sensibilisation des consommateurs. Certains aqueducs vétustes, comme celui de la Dhuis, ne sont plus remplacés.



EN CONCLUSION

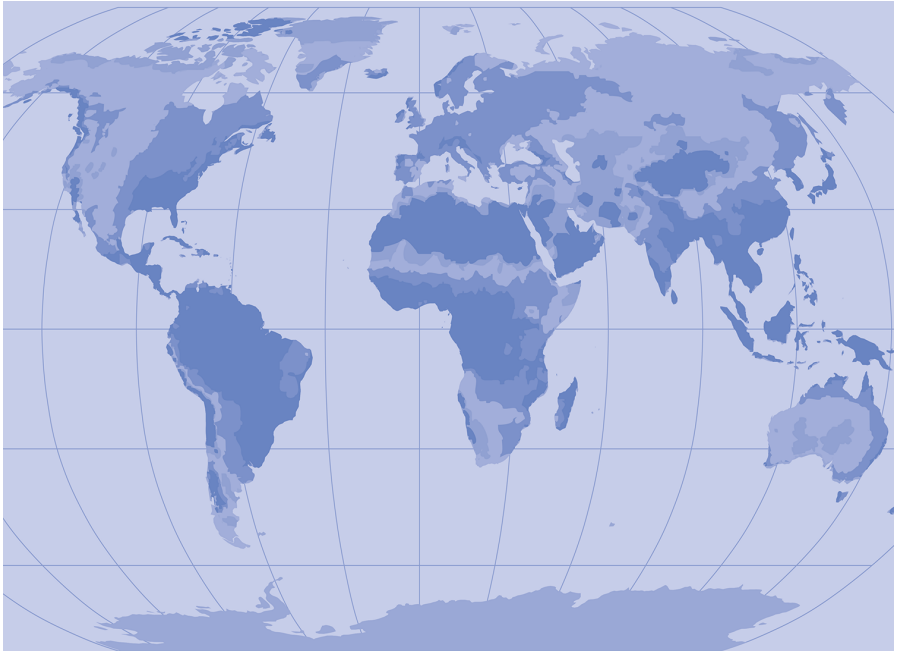
Mobiliser et utiliser l'eau

Des progrès techniques considérables

Inventées depuis la plus Haute Antiquité, les grandes techniques de maîtrise de l'eau – l'agriculture irriguée, les barrages, la construction d'aqueducs – ont été sans cesse perfectionnées. Depuis la révolution industrielle, elles ont changé d'échelle : actuellement, les seules limites imposées aux prouesses techniques des ingénieurs sont les coûts financiers et les impacts négatifs sur l'environnement. Ces grands barrages et gigantesques transferts d'eau permettent de répondre à une demande sans cesse croissante au niveau mondial.

Consommer et prélever

Les progrès techniques ont permis un développement rapide des prélèvements d'eau dans les fleuves et nappes phréatiques. Aujourd'hui, si l'utilisation directe d'eau représente en moyenne une centaine de litres par jour dans les pays développés, on estime qu'il faut prélever près de 5 000 litres d'eau pour produire notre ration alimentaire quotidienne, sans compter l'eau prélevée pour la production d'objets de consommation courante, le refroidissement des centrales nucléaires ou la production hydroélectrique. La majeure partie de cette eau prélevée est certes rendue aux cours d'eau, mais avec une qualité souvent dégradée qui demande des traitements coûteux.



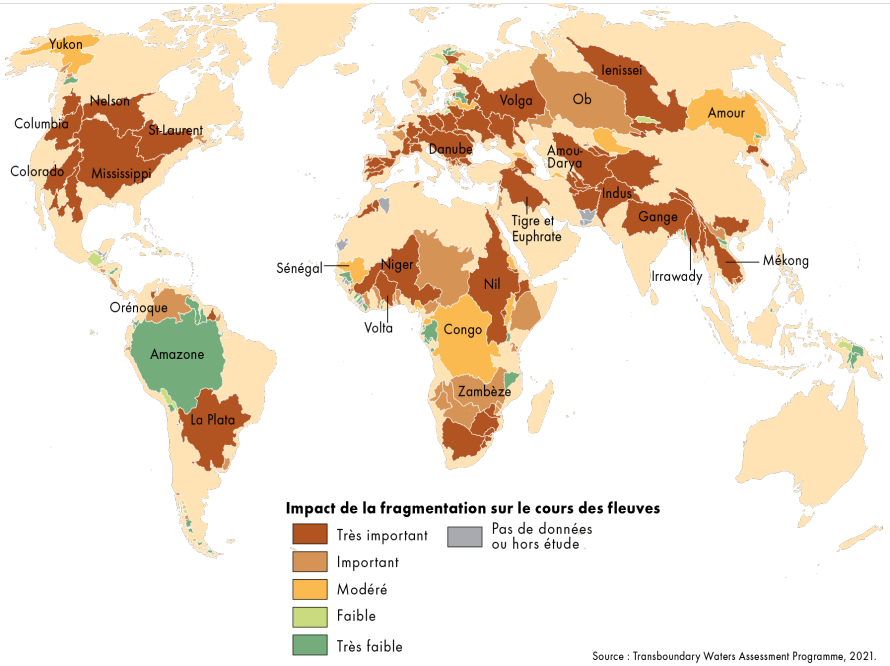
Une ressource menacée

Des catastrophes, comme l'incendie de l'usine Sandoz à Bâle en 1986, qui provoqua une pollution sans précédent du Rhin jusqu'à la frontière néerlandaise, ont accéléré la mise en place de mesures de protection des ressources face aux risques industriels et aux pollutions urbaines dans les pays du Nord depuis une trentaine d'années.
À l'opposé, les pays les moins développés subissent des formes de pollution « classiques » causées par le manque d'assainissement, source des maladies. Les pays émergents comme la Chine ou l'Inde connaissent pour leur part toutes les formes de dégradation : pollutions organiques liées aux rejets directs d'égouts dans les cours d'eau, pollutions industrielles localisées déversées par les mines ou les usines, pollutions agricoles diffuses avec l'augmentation de l'utilisation d'engrais et de pesticides, destruction des zones humides pour la construction d'infrastructures de transport et l'urbanisation.

Les effets des grands barrages

Considérés comme le nec plus ultra du savoir-faire hydraulique jusque dans les années 1970, les grands barrages dits « à buts multiples » sont aujourd'hui très largement critiqués, non seulement à cause des très fortes perturbations environnementales qu'ils ont engendrées, mais aussi pour l'échec économique des grands projets d'irrigation associés et pour les bouleversements sociaux (déplacements de population, différenciation sociale) qu'ils ont entraînés.

La fragmentation des fleuves



Source : Transboundary Waters Assessment Programme, 2021.

« *Small is beautiful* » ?

Si les grands barrages sont aujourd'hui très critiqués, il ne faut cependant pas négliger les effets des petits ouvrages qui ont été construits en très grand nombre depuis les années 1970 pour créer des petits lacs artificiels dans les dépressions et les bas-fonds, surtout dans les zones tropicales ou méditerranéennes. Ils sont présentés comme une alternative efficace à la construction de grands barrages : peu coûteux, ils sécurisent les ressources en eau, permettent l'extension de l'agriculture irriguée et créent des zones humides favorables à l'installation d'une faune et d'une flore variées. Ils facilitent également la recharge des nappes phréatiques. Mais les effets à long terme de leur multiplication restent encore peu connus ; ces petits lacs peuvent par exemple devenir des foyers de maladies liées à l'eau.

Des flux hydriques bouleversés

Les cours d'eau subissent deux types de perturbations liées aux grands barrages. D'une part, ils réduisent, par l'évaporation sur le réservoir, le volume d'eau total disponible. D'autre part, ils modifient le rythme hydrologique, en « lissant » le débit pour que de l'eau soit disponible en permanence pour les utilisateurs en aval. Or, la plupart des espèces vivantes sont adaptées au rythme naturel du cours d'eau. Pour les zones humides notamment, seule la montée et la descente des eaux permettent un bon fonctionnement des écosystèmes, qui ne supportent pas une inondation ou un assèchement permanent. Ces modifications ont donc des impacts très importants sur la faune et la flore des cours d'eau.

Pour pallier les inconvénients liés à la régularisation du débit, les gestionnaires des barrages mettent en place plusieurs stratégies. La plupart des cours d'eau bénéficient aujourd'hui d'un « débit réservé » en aval des barrages, permettant un maintien minimal des écosystèmes. Certains vont même plus loin : sur le Colorado, des lâchers d'eau exceptionnels, sous haute surveillance, « miment » les crues qui avaient lieu avant la construction de grands barrages. Mais ces actions ne suffisent pas à rétablir la continuité des écosystèmes : ainsi les très grands barrages sont souvent un obstacle insurmontable à la migration des poissons. À l'exception notable de l'Amazone, la plupart des cours d'eau au niveau mondial sont aujourd'hui « fragmentés » en plusieurs unités hydrologiques qui ne communiquent plus entre elles.

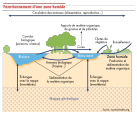
La perturbation des flux sédimentaires : le cas du Nil

Les cours d'eau, en plus de leur charge liquide, transportent des sédiments : plus de 900 millions de tonnes par an pour les plus chargés comme le Huang He (fleuve Jaune) en Chine. Les grands barrages arrêtent ces flux sédimentaires qui contribuent à les combler progressivement. Ceci explique d'ailleurs la durée de vie limitée des barrages, de quelques années, pour ceux qui sont dans des zones où l'érosion est très active, à plusieurs siècles.

C'est dans le bassin du Nil que ces perturbations sont les plus visibles : le barrage d'Assouan arrête les fameux limons du Nil, arrachés aux hautes terres d'Éthiopie, qui fertilisaient naturellement les champs. Plus en aval, le manque d'apports sédimentaires contribue au recul du delta du Nil. Combiné à la hausse du niveau marin, ce phénomène pourrait affecter à terme plus de six millions de personnes.

Des zones humides en danger

Marais, marécages, bas-fonds : les zones humides ont eu longtemps mauvaise réputation, repaires de brigands, infestées par les maladies… Le mot « paludisme » est dérivé de *palus*, marais en latin, que l'on retrouve aussi souvent dans la toponymie française. L'utilité et la valeur des zones humides n'ont été redécouvertes que récemment, trop tard pour ainsi dire. Aujourd'hui une politique de protection est mise en place, mais elle reste encore limitée.



Un patrimoine inestimable

Une zone humide est une région où l'eau est le principal facteur qui contrôle le milieu naturel et la vie animale et végétale associée. Elle apparaît là où la nappe phréatique arrive près de la surface ou affleure, ou bien là où des eaux peu profondes recouvrent les terres. Les zones humides couvrent environ 600 millions d'hectares dans le monde. Certaines s'étendent sur des milliers d'hectares, comme le delta de l'Okavango (au Botswana), mais la plupart ont une taille très modeste.

Les zones humides filtrent les polluants, retiennent les sédiments et les engrais phytosanitaires. Cette fonction est d'ailleurs utilisée dans les techniques modernes de traitement des eaux. Aires naturelles d'expansion des crues, elles jouent un rôle important dans la régulation des rythmes hydrologiques en ralentissant notablement la montée des eaux. Grâce à leur forte productivité biologique, les zones humides fournissent également des ressources alimentaires très importantes, notamment pour les pays pauvres. Enfin, par la diversité des milieux qu'elles offrent, elles présentent une très forte biodiversité. En France, 50 % des espèces d'oiseaux et 30 % des espèces végétales menacées en dépendent. Elles sont indispensables pour le cycle reproductif de nombreux poissons. Des études récentes ont estimé les « services » rendus par ces terres autrefois délaissées à plus de 1 400 dollars par hectare et par an.

Les menaces sur les zones humides

Si, au Moyen Âge, les zones humides étaient intégrées aux systèmes agropastoraux, l'époque moderne a été caractérisée, pour des raisons hygiénistes et économiques, par leur disparition rapide puisque, une fois drainées, elles offrent des terrains plats, proches des axes de communication majeurs. Dans les pays développés notamment, une grande partie des zones humides a disparu, par effet direct (drainage, construction d'infrastructures de transport) ou indirect (régulation des cours d'eau).

En France, près de la moitié des zones humides ont disparu entre 1950 et 1990. Les marais sont parfois détruits volontairement lors d'entreprises de bonification, par endiguement ou encore par l'extraction de matériaux de construction (sable, granulats, graviers en bord de rivière).

Mais les zones humides souffrent également d'impacts plus distants : la régulation des cours d'eau et le déversement de polluants en amont. Ces dégradations expliquent à leur tour en grande partie la baisse généralisée du nombre d'espèces piscicoles et avicoles dans les écosystèmes aquatiques.

La restauration écologique des milieux aquatiques

Dès les années 1970, la prise de conscience de la dégradation des milieux aquatiques a conduit la plupart des pays européens à se doter de lois et de réglementations pour les protéger. Depuis une vingtaine d'années, lorsque cela est possible, des programmes de restauration des milieux aquatiques sont mis en place. Il s'agit alors de recréer artificiellement des zones humides ou encore de redessiner le tracé des cours d'eau en restaurant des méandres. Le but de ces actions est de restaurer certains processus qui améliorent le fonctionnement d'un cours d'eau – notamment ses capacités d'autoépuration –, permettent le retour d'espèces animales disparues et augmentent sa valeur esthétique.

Mais la « restauration écologique » ne va pas sans poser de problèmes. La destruction des aménagements antérieurs, parfois très anciens, fait naître chez les riverains la crainte du retour des inondations et cause des pertes financières qu'il faut compenser. De plus, il est souvent difficile de définir l'état naturel du cours d'eau, tant il a été modifié. Toute action de restauration doit donc être menée avec la plus extrême prudence pour que le remède ne soit pas pire que le mal.

Protéger les zones humides

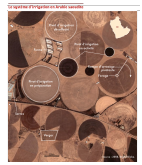
Les mesures de protection des zones humides ont été tardives. Le traité intergouvernemental de 1971, dit convention Ramsar (du nom d'une ville d'Iran), rassemble 163 pays signataires et protège actuellement 197 millions d'hectares de zones humides (répartis sur 2 065 sites). En France, on trouve 42 zones Ramsar pour une superficie de 3,5 millions d'hectares.

Peu contraignante, la convention Ramsar ne prône qu'une « utilisation rationnelle des zones humides », définie ainsi en des termes flous : « le maintien de leurs caractéristiques écologiques obtenu par la mise en œuvre d'approches par écosystème dans le contexte du développement durable ».

C'est pourquoi la simple inscription dans le cadre de la convention Ramsar doit être complétée par d'autres mesures. En Europe par exemple, la protection des zones humides se fait essentiellement à travers le programme Natura 2000, dont une grande partie concerne les zones humides.

La surexploitation des ressources souterraines

Les ressources souterraines sont encore peu connues et semblaient inépuisables, d'où leur exploitation intensive. Celle-ci peut être durable lorsque le pompage n'excède pas le renouvellement annuel. Mais, souvent, il s'agit d'usages non durables, épuisant la ressource, notamment dans les nouveaux périmètres irrigués des zones arides, où l'on parle parfois, comme en Arabie saoudite, d'exploitation « minière » des ressources en eau.



Une ressource surexploitée

Si une nappe souterraine ne s'assèche pas comme un cours d'eau, partout dans le monde, les signes d'une surexploitation des nappes se multiplient : leur « toit » baisse et il faut pomper de plus en plus profondément. Les conséquences en sont parfois désastreuses : à Mexico, la nappe s'est abaissée de plusieurs mètres en cinquante ans, déstabilisant de nombreux bâtiments. Dans la grande nappe aquifère de l'Ogallala (aux États-Unis), l'abaissement atteint près de 30 mètres par endroits.

Lorsqu'une nappe s'épuise, les sources qui en dépendent tarissent et, en bord de mer, un « coin salé » s'infiltre, rendant les forages impropres à la consommation. Ce sont les États d'Afrique du Nord et d'Asie occidentale qui dépendent le plus de cette ressource. Localement, comme dans la plaine de Chine du Nord, l'épuisement est si rapide que tous les usages de l'eau, notamment pour l'agriculture traditionnelle, sont remis en cause.

En outre, la surexploitation des nappes s'accompagne souvent de pollution. Ce lent phénomène est un problème majeur qui sera difficile, long et coûteux à régler pour les générations futures.

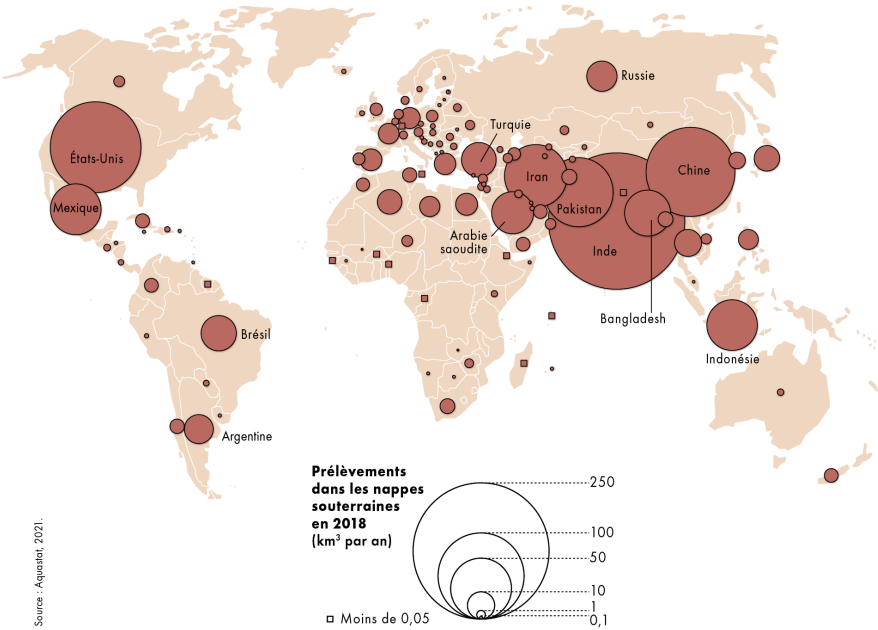
L'eau du Sahara : une solution durable ?

La zone désertique qui s'étend de l'Algérie à l'Arabie saoudite a connu un développement agricole spectaculaire depuis la découverte d'abondantes ressources souterraines fossiles. Partout ont fleuri des périmètres irrigués modernes, reconnaissables à leur forme de disque. Ces ressources, créées à un moment où le Sahara était bien plus arrosé, se renouvellent pratiquement pas. C'est le cas du système aquifère du Sahara septentrional qui s'étend sur plus d'un million de kilomètres carrés et contient plus de 30 000 milliards de m^3 d'eau

Là où les ressources sont moins importantes, comme en Arabie saoudite, il semble que l'exploitation des eaux fossiles pour l'agriculture ait atteint ses limites, à cause de l'épuisement physique de la ressource et du coût économique croissant : plus il faut pomper profondément, plus cela est cher.

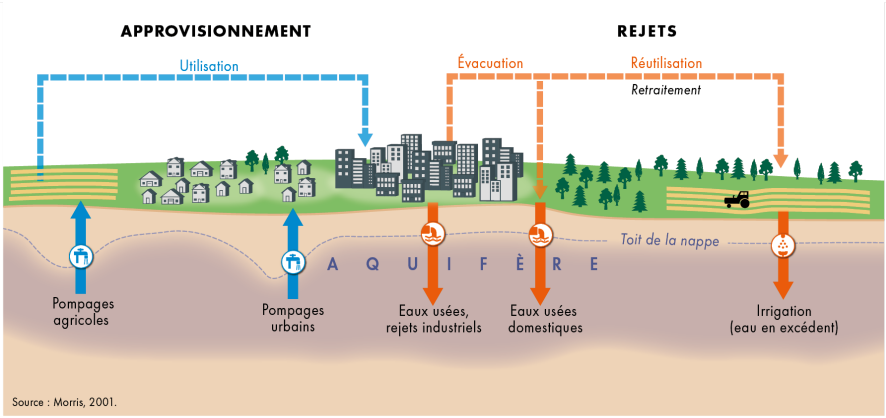
Cette agriculture « minière » crée de graves problèmes sociaux là où existait une agriculture traditionnelle d'oasis. Le surpompage dans les grandes exploitations assèche les sources et les puits traditionnels : les paysans qui n'ont pas les moyens de creuser plus profondément sont alors obligés de cesser leur activité et souvent de migrer vers les villes ou vers d'autres pays.

L'utilisation des ressources souterraines dans le monde



Source : Aquastat, 2021.

L'impact humain sur les nappes phréatiques

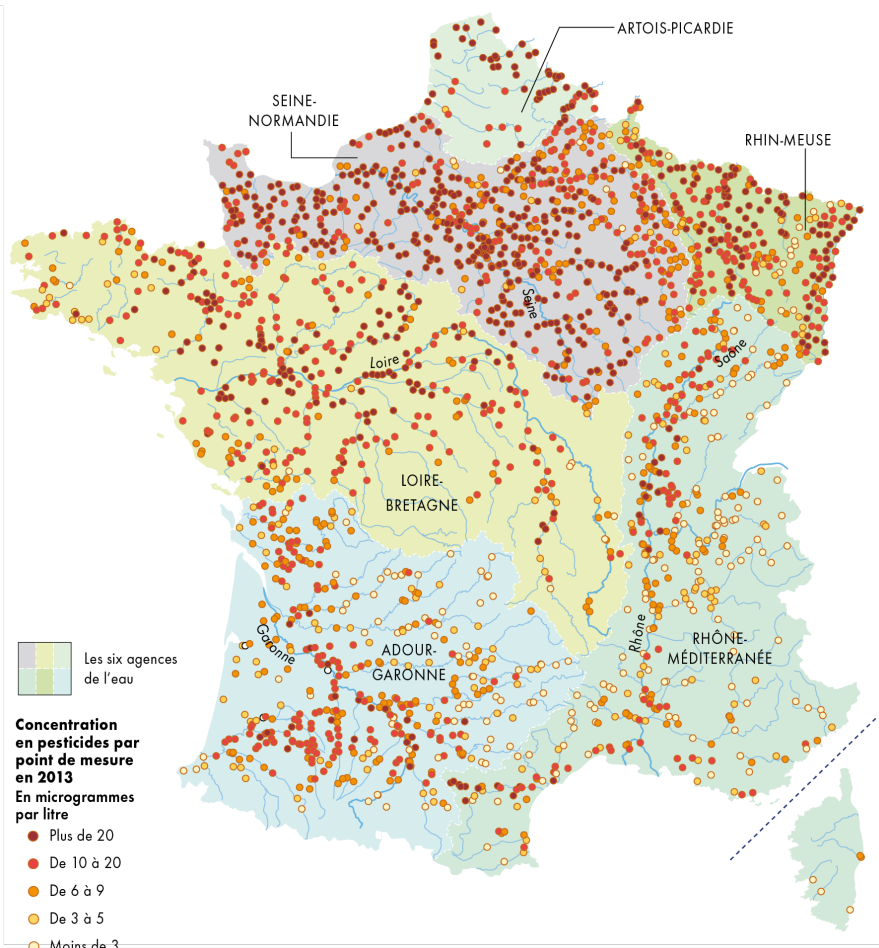


Source : Morris, 2001.

Les pollutions d'origine agricole

Le développement de l'agriculture intensive entraîne de nombreuses pollutions. Nitrates et phosphates sont à l'origine du phénomène d'eutrophisation qui induit la croissance incontrôlée d'algues vertes par exemple ; les pesticides peuvent contaminer l'ensemble de la chaîne alimentaire. Ces pollutions diffuses, issues de milliers de points de contamination, sont massives dans les pays du Nord et en forte augmentation dans les pays du Sud.

La pollution par les pesticides des rivières en France



Sources : Agences et offices de l'eau, SOeS.

La salinisation est le fléau de l'agriculture irriguée. Lorsque l'apport d'eau est trop important et mal maîtrisé ou que le système de drainage est mal conçu, le bilan hydrique des sols est altéré et les sels minéraux s'accumulent. Dans les régions arides et semi-arides, où l'évaporation est particulièrement forte, ce processus entraîne une baisse rapide des rendements et rend à terme les terres impropres à toute culture.

On pense que la salinisation a été à l'origine du déclin des premières civilisations agricoles de Mésopotamie. Elle touche encore aujourd'hui près de 8 % des superficies irriguées au niveau mondial, et près du quart des terres irriguées au Pakistan et dans les républiques d'Asie centrale. Il existe des techniques onéreuses pour prévenir ou corriger la salinisation, par l'amélioration des systèmes d'irrigation ou par la construction d'un système de drainage efficace. Seuls les moyens manquent.

Trop d'engrais, trop de pesticides

Deux principaux types de substance sont à l'origine des pollutions agricoles : les engrais (nitrates, composés d'azote, et phosphates, composés de phosphore), sources du phénomène d'eutrophisation, et les pesticides (fongicides, herbicides et insecticides).

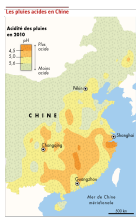
Les nitrates et les phosphates sont des éléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes : leur absence limite fortement les rendements agricoles. Utilisés en trop fortes doses, ils contaminent les nappes phréatiques et se retrouvent dans les cours d'eau, où cet excès de nutriments favorise la prolifération de la végétation aquatique. La respiration des plantes et leur décomposition entraînent une baisse de l'oxygène dissous et la mort d'espèces animales. Des « zones mortes » peuvent ainsi se former, empêchant toute activité piscicole ou touristique comme dans le cas du golfe du Mexique. De nombreux captages souterrains en France présentent des taux de nitrates supérieurs à la norme de 50 mg/l, notamment en Bretagne (du fait des effluents des élevages industriels de volailles et de porcs) et, généralement, dans les régions de grande culture.

Les pesticides. Les effets des pesticides utilisés pour traiter les organismes nuisibles sont encore mal connus, étant donné leur grande diversité et le manque d'études épidémiologiques à long terme. On utilise en France environ 300 substances actives (molécules) qui entrent dans la composition de plus de 8 000 produits. Ces pesticides se retrouvent dans 91 % des captages de surface et 55 % des points de mesure des nappes souterraines. On retrouve également, plusieurs années après leur épandage, des composés « dégradés » appelés « métabolites ». Pour 10 % des captages superficiels, la teneur est telle que l'eau est impropre à la production d'eau potable, et 26 % ont une qualité moyenne ou médiocre. Les deux composants responsables du déclassement des captages sont le glyphosate (substance active du désherbant Roundup de Monsanto), l'atrazine (un herbicide), le diuron (interdit depuis 2007) ou encore le chlordécone (insecticide utilisé pour traiter les bananes dans les Antilles, interdit en 1993 en France et dès 1975 aux États-Unis). Les principales zones touchées sont les régions de grande culture (Bassin parisien et Bassin aquitain), mais aussi les cultures spécialisées de la vallée du Rhône et du Languedoc (fruits et vignoble) ou encore les Antilles. Seuls les massifs montagneux semblent exempts de contamination.

La lutte contre les pollutions diffuses demande un travail de longue haleine, car les polluants que l'on retrouve actuellement ont parfois été dispersés il y a plusieurs dizaines d'années. Il faut agir à la fois sur les pratiques agricoles (avec une meilleure utilisation des fertilisants et des pesticides), la restauration des zones humides (qui jouent le rôle de filtres naturels), la plantation de haies… Ces actions peu spectaculaires s'inscrivent sur le temps long et ne commencent à porter leurs fruits que plusieurs années après leur mise en œuvre, comme c'est le cas actuellement en Europe. Leur traitement nécessite des investissements coûteux, voire des changements radicaux des modes de production.

Les pollutions industrielles et urbaines

Les pollutions dites industrielles sont anciennes : l'eau qui sortait des tanneries était d'une qualité exécrable, et les orfèvreries ont occasionné de nombreuses intoxications au mercure. Ces contaminations ont pris une nouvelle dimension avec la révolution industrielle, causant parfois de graves accidents. Dans les pays du Nord cependant, des mesures ont été prises pour traiter d'abord les rejets industriels localisés puis les effluents urbains.



Une pollution grave

Les pluies acides ont pour origine la pollution de l'air par les oxydes de soufre et d'azote au-dessus des grands bassins industriels. Ces éléments réagissent avec les gouttelettes d'eau pour former des pluies acides (pH descendant parfois jusqu'à 4). Ces précipitations, poussées par les vents dominants, ont des effets sur les arbres et sur les lacs. Lorsque le pH descend en dessous de 5, la survie de la plupart des poissons n'est plus possible. De vastes zones situées « sous le vent » des centres d'émission ne contiennent plus que des lacs « morts » au milieu de forêts malades. Après les graves crises des années 1980, des mesures efficaces ont été prises en Occident, avec des effets probants, mais le phénomène pourrait prendre une ampleur très importante en Chine et en Inde.

Des progrès limités par les pollutions émérgentes et le poids des pollutions héritées

Les États de l'Union européenne ont fourni un important effort en matière de traitement des effluents industriels et urbains. Le taux de traitement des eaux usées est ainsi supérieur à 75 % dans les pays d'Europe occidentale. En France, il est passé de près de 50 % en 1980 à plus de 90 % aujourd'hui.

Avec le développement des techniques de traitement, la situation est en cours d'amélioration en Europe, avec le retour d'espèces de poissons disparues. Mais de nouvelles formes de pollution apparaissent, comme les résidus médicamenteux présents dans les eaux usées, ou encore les micro-plastiques. De nombreux efforts doivent être faits pour retrouver une qualité optimale des eaux rejetées. Le traitement de ces pollutions dites « émergentes » est difficile et coûteux, et il demande souvent des actions « en amont » par un changement des modes de vie des consommateurs (moindre consommation de médicaments, recyclage des plastiques…).

Un autre problème est lié au poids des héritages de décennies de rejets sans précaution qui pèse lourdement. Un des cas les plus marquants est celui des PCB (polychlorobiphényles), commercialisés en France sous le nom de pyralène, utilisés massivement dans l'industrie (transformateurs, condensateurs, lubrifiants) et disséminés largement dans l'environnement jusqu'aux années 1970. Interdits à la vente en France depuis 1987, ces éléments classés comme perturbateurs endocriniens et probablement cancérigènes sont encore très présents dans les sédiments des cours d'eau (notamment dans l'estuaire de la Seine et les cours d'eau du Nord et du bassin du Rhône). En se concentrant dans

la chaîne alimentaire, ils rendent les poissons impropres à la consommation.

Le coût du traitement des sédiments est tel (environ 100 €/m³) que les pouvoirs publics se contentent d'intensifier les mesures d'interdiction de rejet et d'accroître la surveillance. Le traitement de cette pollution restera donc à la charge des générations futures pendant plusieurs décennies.

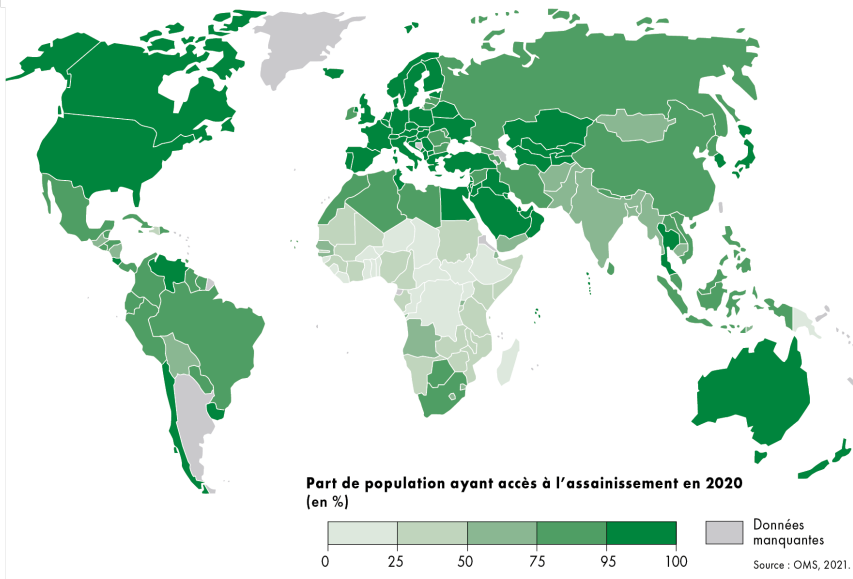
Les plus pauvres, premières victimes des pollutions urbaines

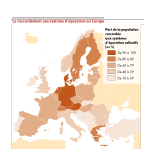
L'accès à l'assainissement dans le monde est un indicateur approximatif de la qualité des eaux usées des grandes villes : l'absence d'accès à l'assainissement indique que les effluents sont directement rejetés dans le milieu, sans aucun traitement.

Les eaux usées contiennent non seulement des déchets organiques, mais aussi, mélangés aux effluents industriels, des produits toxiques et des métaux lourds. Dans certains pays du Sud, la proportion d'habitants ayant accès à l'assainissement est inférieure à 30 % pour les urbains, et encore bien plus faible pour les ruraux. Dans les quartiers déshérités des grandes villes du Sud, ce sont donc des millions d'habitants qui n'ont pas accès à l'assainissement. Néanmoins, pour leur usage quotidien en eau, ces mêmes personnes sont souvent contraintes de s'approvisionner dans les eaux usées qui s'accumulent dans les bas-fonds. Les plus pauvres sont donc les premières victimes de ces désastres écologiques, cas flagrant d'injustice environnementale.

Malgré des progrès récents, le manque d'accès à l'assainissement est l'un des problèmes environnementaux, sanitaires et sociaux les plus aigus dans les pays du Sud : 2,5 milliards d'habitants, soit plus d'un tiers de la population mondiale, n'ont pas accès à un système d'assainissement de base.

L'accès à l'assainissement dans le monde

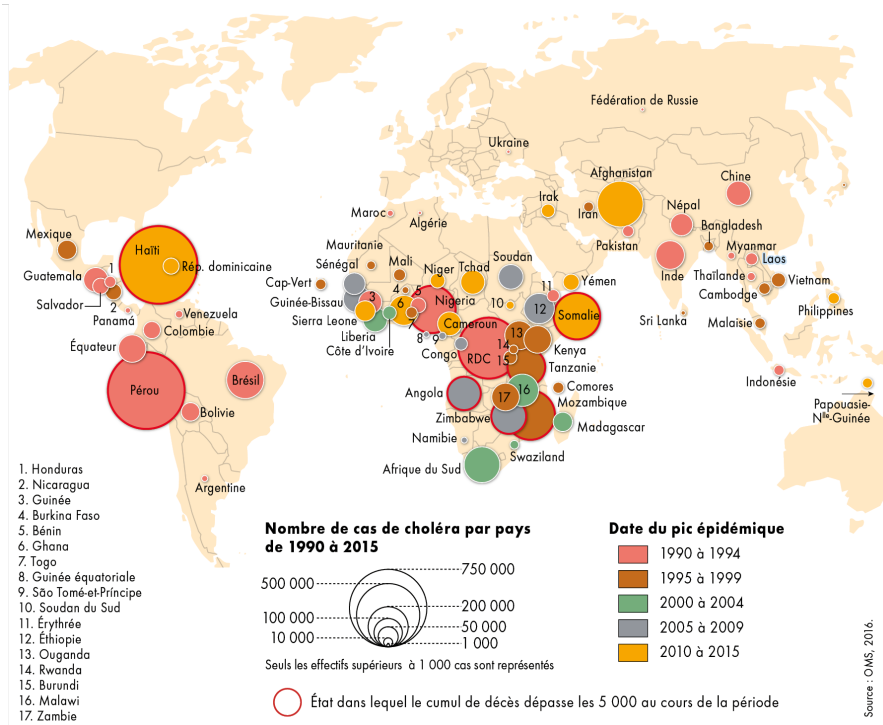




Les risques liés à l'eau

L'eau est une ressource menacée, mais son manque, ses crues et sa mauvaise qualité sont également une menace pour la vie de millions d'hommes. Plus que les facteurs naturels, c'est souvent la mauvaise gestion de la ressource qui est la cause des catastrophes. On estime ainsi qu'au moins 1 million de personnes meurent chaque année de maladies liées à la mauvaise qualité de l'eau potable ; 90 % d'entre elles sont des enfants de moins de cinq ans.

Le choléra dans le monde



Des catastrophes meurtrières

L'Afrique est un des continents où, proportionnellement à la population, les sécheresses et les inondations sont les plus meurtrières. Les événements météorologiques liés à la variabilité climatique sont évidemment l'événement déclencheur de ces catastrophes, mais ils apparaissent surtout comme un révélateur de dysfonctionnements antérieurs. De mauvais choix en termes d'aménagement des cours d'eau ou de stratégie agricole aggravent ainsi considérablement inondations et sécheresses ; et les pollutions agricoles, industrielles et urbaines accroissent la prévalence des maladies liées à l'eau.

Ainsi, les inondations meurtrières en ville sont l'effet du développement urbain anarchique et de la construction dans les bas-fonds. Dans les zones rurales, comme au Mozambique, des études ont montré que les barrages construits à l'époque coloniale ont donné un faux sentiment de sécurité en arrêtant les petites crues et conduit les populations à s'installer dans des zones dangereuses. Quant aux famines liées aux sécheresses, elles surviennent lorsque les pénuries alimentaires, souvent prévisibles, n'ont pas été correctement gérées, ou ont même été instrumentalisées à des fins

politiques.

Les maladies liées à l'eau

Parmi les maladies liées à l'eau, le choléra est sans doute la plus connue. S'il est aujourd'hui éradiqué dans les pays du Nord, c'est loin d'être le cas au Sud, où il sévit de façon endémique, avec de temps à autre des épidémies localisées pouvant infecter des centaines de milliers de personnes.

Ce fut le cas en 1991 au Pérou, avec un million de malades et 10 000 décès, à cause de la contamination de l'eau par des matières fécales, les autorités ayant décidé d'arrêter la chloration (désinfection) de l'eau. Les pertes économiques occasionnées par l'épidémie ont représenté trois fois le coût des investissements effectués dans les dix années précédentes dans l'amélioration des réseaux d'eau potable.

Le choléra est également apparu au début des années 2000 en Afrique du Sud (100 000 malades), chez les populations pauvres des grandes métropoles qui n'avaient plus les moyens de se raccorder au réseau d'eau potable et qui s'approvisionnaient dans les cours d'eau recevant les eaux usées.

Le même lien entre vulnérabilité aux maladies et pauvreté se retrouve dans les autres maladies liées à l'eau : la typhoïde (17 millions de personnes infectées chaque année), le trachome et l'onchocercose (cécités causées par une bactérie et un parasite, respectivement 6 et 18 millions de personnes infectées), la schistosomiase ou bilharziose (200 millions de personnes infectées) ou encore les nombreuses formes de diarrhées, de parasites intestinaux et autres hépatites.

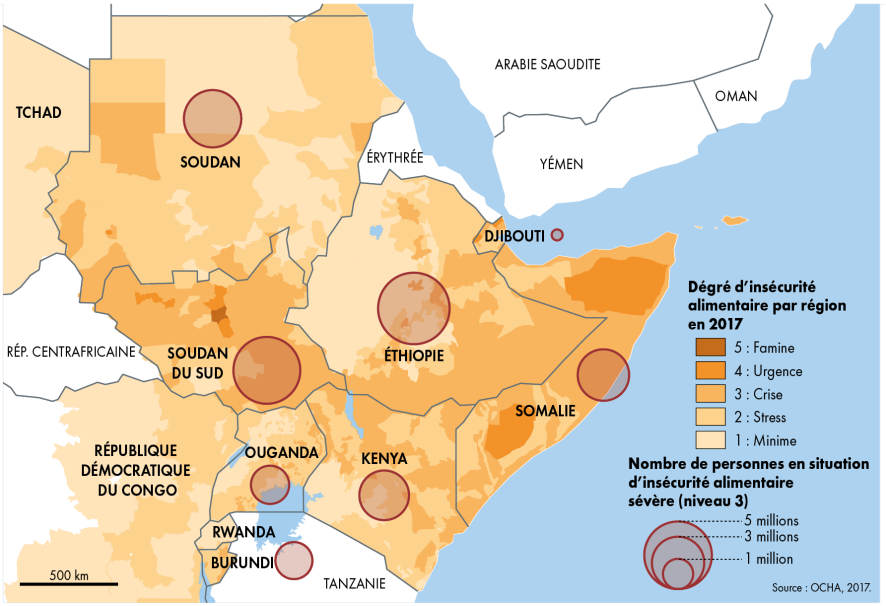
Et si la crue de 1910 se reproduisait à Paris ?

Le risque d'inondation n'est pas écarté dans le bassin de la Seine. Les quatre lacs-réservoirs construits entre 1950 et 1990 n'abaisseraient que de 70 cm la hauteur d'eau à Paris dans le cas d'une crue équivalente à celle de 1910.

Une crue centennale est donc toujours possible avec des conditions hydrologiques identiques. Le bilan humain serait sans doute faible mais les dommages conséquents : plus de 850 000 personnes seraient exposées au risque d'inondation, 2 millions seraient affectées par des coupures d'électricité et 2,7 millions par les coupures d'eau potable. La crue occasionnerait près de 12 milliards d'euros de dommages, avec l'interruption du trafic RER et RATP, l'arrêt de très nombreuses entreprises…

Seules des actions de prévention ont été effectuées pour limiter la vulnérabilité des réseaux et organiser l'évacuation des sites les plus sensibles, avec la mise en place de plans de prévention du risque inondation (PPRI). Mais le Paris des années 2010, plus riche et plus sophistiqué que celui de 1910, résisterait sans doute beaucoup plus difficilement à la privation, pendant un mois de janvier entier, d'électricité, de chauffage et de transport, et au rationnement en eau.

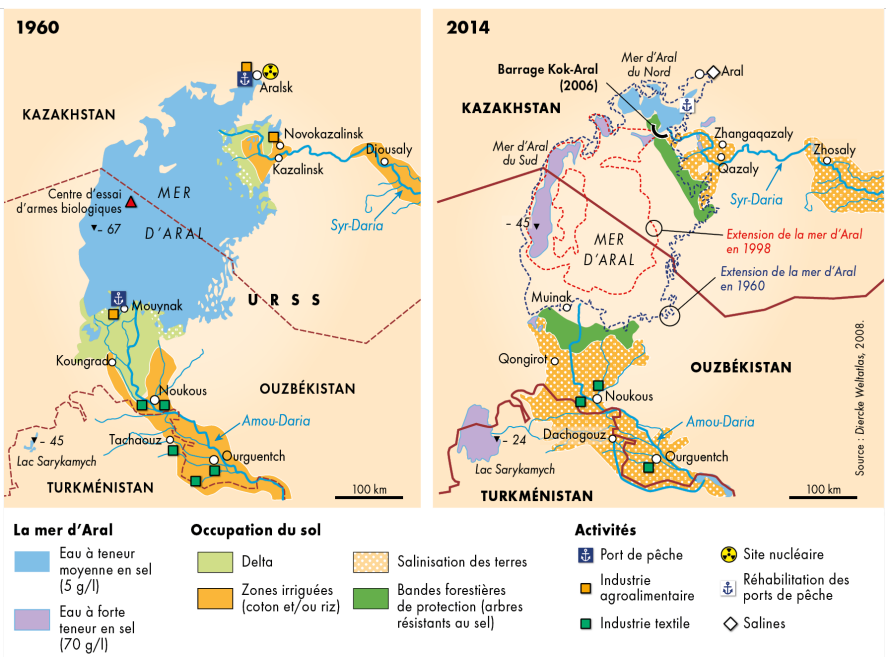
Sécheresse et famine en Afrique de l'Est



Les catastrophes régionales

Dans certaines régions, on assiste à la convergence de multiples crises de l'eau : variabilité climatique entraînant sécheresses et inondations, construction d'ouvrages pharaoniques perturbateurs pour l'environnement, destruction d'écosystèmes, pollutions agricoles, industrielles et urbaines, et enfin, en retour, problèmes sanitaires et sociaux graves. Parmi ces catastrophes qui touchent des régions entières, le désastre de la mer d'Aral est le plus connu.

La mer d'Aral



La mer d'Aral

La catastrophe de la mer d'Aral est un cas exemplaire de convergence de multiples crises de l'eau. Exutoire naturel de deux grands fleuves, l'Amou-Daria et le Syr-Daria, la mer d'Aral a été victime de la volonté des autorités soviétiques de faire de l'Asie centrale la principale région cotonnière de l'URSS.

À cause de l'augmentation des prélèvements pour l'agriculture irriguée, les apports des deux fleuves ont rapidement baissé : de 1960 à 20015, la mer d'Aral a perdu 92 % de son volume, et sa salinité est passée de 1 à 100 g/l (l'eau de mer contient 35 g/l). En amont, le bilan est tout aussi catastrophique, car l'irrigation a été très mal maîtrisée : l'accumulation de sels stérilise les terres agricoles et le taux de pesticides dans les eaux résiduelles est extrêmement élevé. La catastrophe écologique (toutes les espèces de poisson endémiques ont disparu) se double d'un désastre sanitaire. La région entière, balayée par des vents qui transportent les sels laissés à découvert par le retrait de la mer, connaît un des plus forts taux de cancer au monde et une très forte mortalité infantile.

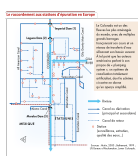
Les efforts réalisés pour sauver l'Aral restent très insuffisants. Seule la « petite Aral » au nord, alimentée par le Syr-Daria et barrée par une digue, pourra peut-être échapper à la transformation en désert salé et toxique qu'est devenue la « grande Aral ».

Le Colorado, un Aral américain ?

Long de 2 330 km, le Colorado, le plus grand fleuve de l'ouest des États-Unis, a été un modèle d'aménagement intégral d'un bassin versant. Les États-Unis y ont construit de très grands barrages, dont le Hoover Dam et le Glen Canyon Dam, et ont détourné ses eaux vers la Californie et le Nouveau-Mexique. 120 m^3/s d'eau du Colorado partent aujourd'hui vers les villes de Los Angeles et de San Diego. Une partie des eaux est également détournée juste avant la frontière mexicaine vers les grands périmètres irrigués de l'Imperial Valley, à l'extrême sud de la Californie.

Le Mexique, où se trouve l'embouchure du Colorado dans le golfe de Californie, a signé en 1944 un traité avec les États-Unis qui lui réservait 35 m^3/s d'eau, sans en préciser la qualité qui allait en se dégradant : la salinité atteignait ainsi 1 500 ppm, contre seulement 50 « naturellement ». L'eau était impropre à l'irrigation et à la consommation humaine, et transformait le delta du Colorado, porteur d'une riche biodiversité, en vaste marécage saumâtre. Un effort a cependant été réalisé afin d'améliorer les méthodes d'irrigation et de baisser la salinité de l'eau à 240 ppm grâce à la construction d'une usine de désalinisation juste avant la frontière mexicaine. Tous les problèmes ne sont pas résolus pour autant : la division des eaux entre les États fédérés américains, réglée par un arbitrage en 1922, est peu adaptée à une région en forte croissance démographique, et la pollution par les engrais et les pesticides reste préoccupante.

Le Colorado aurait pu connaître une évolution potentiellement similaire à l'Aral, mais la prise en compte relativement précoce des problèmes et des investissements massifs ont permis de stabiliser puis d'améliorer provisoirement et localement la situation. La perspective d'une baisse globale de la ressource dans les prochaines décennies fait peser de lourdes menaces sur les habitants du bassin et laisse peu d'espoir pour la restauration future du delta du fleuve.



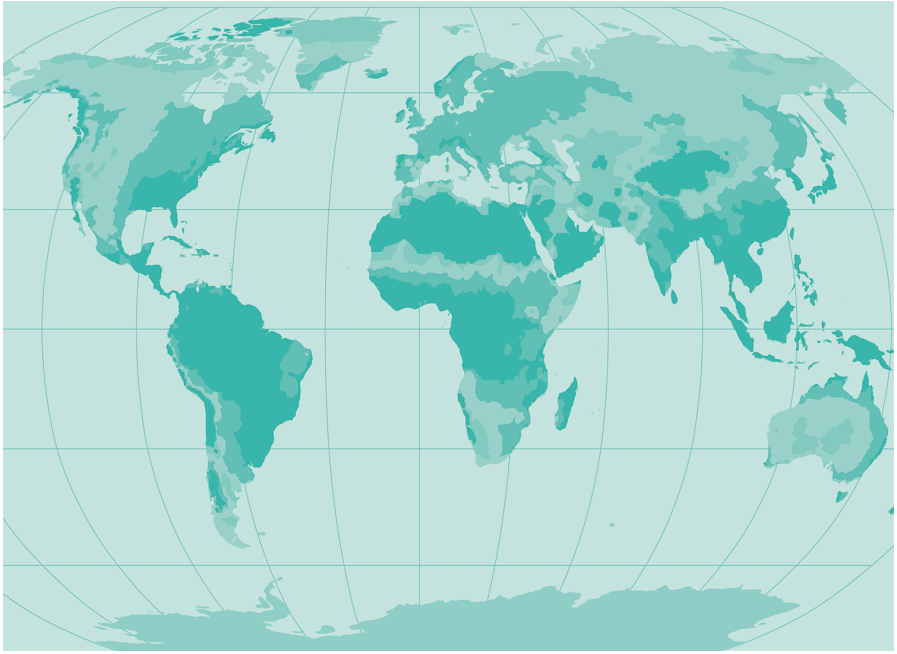
EN CONCLUSION

Une ressource menacée

Une ressource mise en danger

Même lorsque les prélèvements sont faibles par rapport à des ressources qui semblent abondantes, ils peuvent entraîner des modifications importantes de la qualité des eaux. Souvent, les dégradations les plus dangereuses, tant pour les écosystèmes que pour la santé humaine, ne sont pas les plus spectaculaires. Ainsi, les effets négatifs des grands barrages qui détruisent des écosystèmes entiers et modifient l'hydrologie et les flux sédimentaires des fleuves sur des centaines de kilomètres sont très médiatisés.

Mais la multiplication de petites digues, la destruction de zones humides, l'utilisation d'intrants agricoles par des milliers de paysans, et par endroits, le pompage excessif des ressources souterraines qui entraîne un abaissement rapide des nappes phréatiques, peuvent tout aussi bien provoquer des dommages irréparables aux ressources en eau.

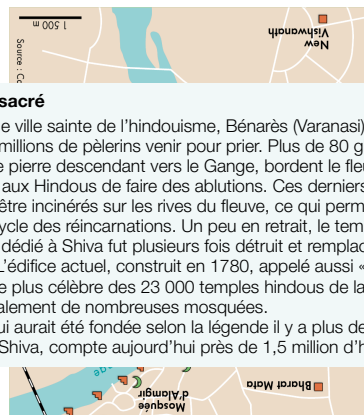


De l’eau pour tous ?

Ce n’est que le 28 juillet 2010 que l’Assemblée générale des Nations unies a reconnu « le droit à une eau potable salubre et propre comme un droit fondamental, essentiel au plein exercice du droit à la vie et de tous les droits de l’homme », par 122 voix pour, 0 contre et 41 abstentions, dont les États-Unis, le Canada et la Turquie.
On ne peut que s’étonner de la date tardive de cette reconnaissance et des réticences manifestées à l’égard de cette résolution pourtant non contraignante. Mais c’est oublier que l’eau est l’objet de nombreux conflits dans le monde, de l’échelle locale au niveau mondial. Le droit à l’eau « pour tous » est loin d’être effectif, notamment pour les plus démunis. L’eau est en effet un excellent révélateur des inégalités sociales : plus on est pauvre, moins on a accès à l’assainissement, plus on la paye cher et plus on est exposé à des maladies liées à l’eau. Le rapport sur le développement humain 2006 du Programme des Nations unies pour le développement (PNUD) souligne ainsi que « la crise de l’eau trouve son origine dans la pauvreté, l’inégalité et des relations de forces inéquitables ».

Une valeur inestimable

De nombreux scientifiques essaient d'évaluer le prix des services rendus par les fleuves et les zones humides, la meilleure façon de rentabiliser la ressource ou de tarifier l'eau potable. Ces discussions nécessaires négligent cependant souvent la valeur symbolique de l'eau, par définition inestimable. L'eau tient une grande place dans toutes les grandes religions, dans les mythes et les légendes, mais aussi dans les paysages, qu'ils soient urbains ou ruraux.



Un fleuve sacré

La principale ville sainte de l'hindouisme, Bénarès (Varanasi), voit chaque année des millions de pèlerins venir pour prier. Plus de 80 ghats, escaliers de pierre descendant vers le Gange, bordent le fleuve sacré et permettent aux Hindous de faire des ablutions. Ces derniers peuvent également être incinérés sur les rives du fleuve, ce qui permet de se libérer du cycle des réincarnations. Un peu en retrait, le temple Vishvanāth dédié à Shiva fut plusieurs fois détruit et remplacé par une mosquée. L'édifice actuel, construit en 1780, appelé aussi « temple d'or », est le plus célèbre des 23 000 temples hindous de la ville, qui compte également de nombreuses mosquées.
Bénarès, qui aurait été fondée selon la légende il y a plus de 5 000 ans par le dieu Shiva, compte aujourd'hui près de 1,5 million d'habitants.

L'eau et la spiritualité

Il faudrait des ouvrages entiers pour rappeler l'importance de l'eau dans les grandes religions monothéistes : le jardin d'Éden est irrigué par un fleuve divisé en quatre bras ; Moïse, « sauvé des eaux », fait jaillir l'eau du rocher ; Jésus est baptisé dans le Jourdain ; et seule la purification rituelle autorise la prière dans l'islam. L'eau, traditionnellement considérée comme un des éléments fondamentaux avec l'air, la terre et le feu, apparaît également dans d'innombrables récits cosmogoniques, des Kanaks de Nouvelle-Calédonie aux Amérindiens, en passant par les mythes gréco-romains. Plus récemment, le philosophe Gaston Bachelard (1884-1962) a montré dans *L'eau et les rêves : essai sur l'imagination de la matière*, publié en 1942, l'importance de l'élément liquide dans l'imaginaire occidental. Il écrit ainsi que « l'eau est l'objet d'une des plus grandes valorisations de la pensée humaine : la valorisation de la pureté. Que serait l'idée de la pureté sans l'image d'une eau limpide et claire, sans ce beau pléonasme qui nous parle d'eau pure ? »

Cette valeur symbolique largement partagée explique pourquoi, dans de très nombreuses cultures, l'eau ne peut être considérée comme une simple marchandise.

L'eau et la ville

La plupart des grandes villes mondiales sont construites près de l'eau, soit au bord de la mer, soit le long de grands fleuves ou de lacs. L'eau tient donc un rôle considérable dans la vie urbaine, traditionnellement pour le commerce (importance des ports fluviaux) et pour les activités artisanales (tannerie, utilisation de l'énergie hydraulique dans les fabriques). Elle a pris dans certaines cités un rôle central dans le déploiement de la magnificence du pouvoir : le long des rives de la Seine, l'Église, la royauté puis la République affichent les plus beaux symboles de leur puissance, de Notre-Dame au Louvre en passant par l'Assemblée nationale.

D'autres villes sont bâties littéralement sur l'eau, traversées de canaux. C'est le cas de Suzhou, fondée il y a plus de 2 500 ans en Chine, mais aussi de l'antique Tenochtitlán (actuelle Mexico), construite sur le lac Texcoco et entourée de jardins flottants, les chinampas. Une partie de ces jardins, toujours cultivée de nos jours et classée au patrimoine mondial de l'Unesco, est l'une des attractions touristiques de la ville et le poumon vert de cette agglomération de près de 20 millions d'habitants. En

Europe, Bruges, Amsterdam, Stockholm et, plus au nord, Saint-Pétersbourg, avec leur lacis de ponts et de canaux, prétendent au titre de « Venise du Nord ».

Ce rapport esthétique entre la ville et l'eau, après la révolution industrielle qui a vu l'installation d'infrastructures polluantes sur les rives des fleuves et canaux, a été réactivé récemment. Les friches industrielles ont été reconquises et les fronts de rivière et de lac, les abords des canaux qu'il était autrefois question de recouvrir pour y faire passer des autoroutes, ont été réhabilités. L'exemple est venu d'Angleterre (East End à Londres) et d'Amérique du Nord, mais cette mode s'est rapidement répandue dans le monde : Shanghai et son Bund réhabilité, la gentrification des canaux à Paris, le Waterfront du Cap sont autant d'exemples de la reconquête de leurs espaces aquatiques par les villes.

L'eau et les paysages

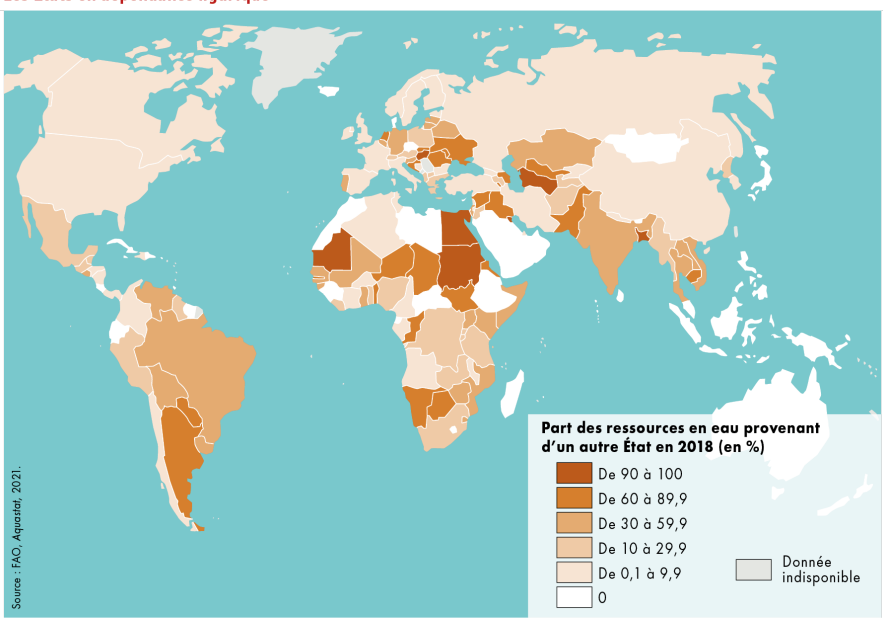
C'est probablement en Chine que l'attention au paysage en tant que valeur esthétique est apparue pour la première fois. En chinois, « paysage » se dit *shanshui*, ce qui signifie mot à mot « montagne, eau ». À partir du viie siècle, *shanshui* a pris aussi le sens de « peinture de paysage » et sera désormais utilisé comme tel dans la littérature chinoise puis japonaise. Les peintures de paysages classiques représentent toujours un cours d'eau.

En Europe, l'apparition du paysage comme sujet pictural est plus tardive, mais l'eau y tient un rôle tout aussi important : que l'on pense aux *vedute* de Canaletto pour les paysages urbains, aux *Nymphéas* de Monet, ou encore aux innombrables peintures marines de la période moderne (ce genre étant curieusement totalement absent de la tradition chinoise).

Une ressource disputée

Les frontières des États suivent parfois les cours d'eau et découpent les bassins versants : on compte aujourd'hui 263 bassins transfrontaliers majeurs, représentant 60 % des ressources en eau mondiales. Ce partage des eaux est une source potentielle de conflits : les mots « riverain » et « rival » partagent d'ailleurs la même racine (*rivus*, « ruisseau »). Mais il y a loin du conflit potentiel à sa matérialisation.

Les États en dépendance hydrique



Source : FAO, *Aquastat*, 2021.

La question des guerres de l'eau

Les prévisions catastrophiques sur les futures guerres de l'eau sont contestées. L'eau est plus un révélateur de tensions qu'un facteur déclenchant : elle envenime les conflits préexistants et peut parfois au contraire accélérer, par la construction de projets communs, les réconciliations.

S'il semble exclu que des guerres « classiques » aient lieu pour l'eau (mobiliser des ressources alternatives est beaucoup moins cher et moins risqué politiquement), il n'empêche que la question de l'eau peut être utilisée dans les négociations internationales, généralement comme moyen d'échange contre d'autres avantages. De fait, les conflits les plus difficiles à résoudre autour de l'eau n'auront pas lieu militairement entre États mais sur les plans politique et économique entre régions (comme en Espagne), entre villes et campagnes, et entre groupes sociaux autour de l'accès et du prix de l'eau.

Une mer qui se vide

L'essentiel de l'eau du Jourdain provient des hautes terres du sud du Liban et du plateau du Golan, occupé par Israël depuis 1967 (1). Ces eaux alimentent le Lac de Tibériade (2) et s'écoulaient naturellement vers la mer Morte. Mais elles sont en grande partie détournées artificiellement pour alimenter les grandes villes côtières israéliennes, dont Tel-Aviv. Construit à partir de la fin des années 1950, le National Water Carrier (3), ou conduite nationale d'eau, long de 130 km, est la colonne vertébrale de tout le réseau d'adduction d'eau en Israël.
Le Jourdain inférieur (4) n'est plus alimenté actuellement que par son affluent le Yarmouk (5), qui marque la frontière entre la Syrie et la Jordanie. Comme ses eaux sont également détournées vers Amman et les périmètres irrigués jordaniens, le volume d'eau qui atteint la mer Morte (6) ne cesse de décroître, ce qui explique la baisse de son niveau, de -390 m sous le niveau de la mer en 1960 à -430 m aujourd'hui...

Les difficiles relations amont-aval

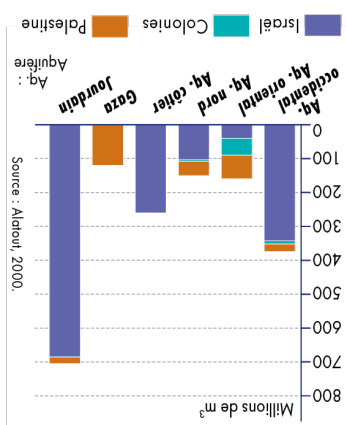
Dans les régions où l'eau est rare, les conflits entre États partageant un bassin versant peuvent s'exacerber. Lorsque l'amont montagneux où ces fleuves prennent leur source et l'aval plus sec n'appartiennent pas au même pays, des situations de dépendance apparaissent.

Le cas exemplaire est celui de l'Égypte (taux de dépendance de 97 %, l'essentiel des eaux du Nil venant d'Éthiopie et d'Ouganda). L'Irak (dépendance de 53 %), qui est à la merci de la Turquie où se trouvent les sources du Tigre et de l'Euphrate, ou encore le Pakistan (dépendance de 76 %, les sources de l'Indus se trouvant dans la région disputée du Cachemire indien) sont dans des environnements similaires.

Ces situations potentielles de conflits sont aggravées lorsqu'il existe une différence de puissance entre les États d'amont et d'aval. Si l'État d'aval est plus puissant, il sera tenté de s'approprier la ressource (comme l'Afrique du Sud au Lesotho) ou de menacer les États d'amont en cas d'aménagements non conformes à ses intérêts (l'Égypte face à l'Éthiopie). Si l'État d'amont est en mesure de le faire, il pourra utiliser l'eau comme moyen de pression sur les États d'aval (la Turquie face à la Syrie et à l'Irak). Les « risques hydropolitiques » dans les grands bassins internationaux se « cristallisent » le plus souvent autour de grands aménagements : c'est le cas par exemple du barrage de la Grande Renaissance en Éthiopie autour duquel se noue le conflit entre ce pays et l'Égypte.

Cela ne veut pas dire que le conflit est certain. Les questions « techniques » de gestion commune de grands fleuves peuvent être, au contraire, l'occasion de coopération entre pays ennemis, comme l'Inde et le Pakistan.

Utilisation de l'eau en Israël et en Palestine



Source : Alatout, 2000.

Les concurrences régionales

Les tensions entre riverains apparaissent aussi au sein même des États : on peut citer l'exemple des États fédéraux du bassin du Colorado aux États-Unis, mais aussi ceux de l'Espagne ou de l'Inde. Avec l'accent mis récemment sur la valorisation économique optimale de l'eau, de nouvelles tensions apparaissent entre les villes et les périmètres irrigués, les premières affirmant qu'elles produisent plus de richesses et d'emplois par mètre cube d'eau consommé.

Des villes du Sud assoiffées

La croissance urbaine et le développement économique dans les pays émergents ont fait croître exponentiellement une demande industrielle et urbaine jusque-là négligeable. Dans les pays où la ressource est abondante et l'agriculture irriguée peu importante (Brésil), la demande croissante des villes peut être plus facilement satisfaite. Mais dans de nombreuses autres régions (Inde du Nord, Chine du Nord ou Afrique du Sud), la soif des villes demande une réorientation importante de la gestion de l'eau : la priorité donnée aux grands aménagements agricoles est revue en faveur de l'approvisionnement urbain. Or, pour ce faire, il faut parfois aller chercher de l'eau très loin : à 500 km dans les montagnes du Lesotho pour Johannesburg, à plus de 1 000 km dans le Yangzi Jiang pour Pékin. Cette évolution ne se fait pas sans résistance ; des agriculteurs se voient contester des droits très anciens et des régions entières sont parfois privées de leurs ressources.

Ces nouvelles politiques de gestion s'appuient sur des arguments économiques reposant essentiellement sur la meilleure valorisation de l'eau, en termes de PIB et d'emplois, par les utilisations urbaines. Les quelques exemples calculés en Australie montrent que l'utilisation agricole est toujours moins rentable que d'autres activités, comme les mines ou l'industrie. Une preuve supplémentaire avancée est que, contrairement aux urbains, les agriculteurs paient rarement le prix total de l'approvisionnement en eau, sinon leurs productions ne seraient plus rentables.

Outre des discussions sur la précision du mode de calcul, des critiques sont formulées face à ces raisonnements. Premièrement, dans les pays à forte agriculture irriguée, l'eau est le principal facteur limitant de la production agricole. Elle est de fait largement indirectement utilisée par les urbains sous forme de denrées alimentaires. Séparer rural et urbain n'a pas beaucoup de sens si l'on tient compte du circuit complet des produits. Deuxièmement, avant de capter l'eau au loin, des efforts de sobriété peuvent être réalisés dans les villes (réduction des fuites des réseaux, recyclage partiel, etc.), ce qui permettrait d'amoindrir les volumes nécessaires à leur approvisionnement. Mais la consommation des villes du Sud, amenée à se développer, deviendra une source de conflits futurs.

La Turquie : le grand projet anatolien et la question kurde

Le projet du Sud-Ouest anatolien (en turc *Güneydogu Anadolu Projesi* ou GAP) prévoit de mettre en valeur, par le développement agricole (1,8 million d'hectares) et industriel (à partir de l'hydroélectricité), une région historiquement déshéritée. Il s'appuie sur de nombreux grands barrages, dont le plus important (48 km³ de retenue) est symboliquement nommé Atatürk, du nom du fondateur de la République turque. Mais ce projet répond également à des objectifs géopolitiques nationaux et internationaux.

Il vise à rééquilibrer le territoire national, mais surtout à intégrer les populations kurdes (dont le nom

n'est pas mentionné) qui peuplent la majeure partie de la zone touchée par le projet. Au niveau international, l'utilisation effective de l'eau en Turquie permet de justifier les « droits » du pays face aux demandes futures de la Syrie et de l'Irak.

La gestion de l'eau : une question politique

Dans les régions qui connaissent un climat marqué par une longue sécheresse estivale, la gestion de l'eau a toujours été une question politique de premier plan pour régler les conflits entre les différents acteurs et les rivalités entre villes et entre régions.

L'Espagne : l'eau de la nation ou des régions ? L'histoire de l'eau en Espagne est liée aux évolutions politiques du pays. Ainsi, la première vague de construction de barrages et la planification des transferts massifs a été impulsée par de jeunes ingénieurs traumatisés par la défaite de 1898 face aux États-Unis, dans la perspective du *Regeneracionismo*. Mais la grande impulsion « hydraulique » est venue sous Franco (surnommé « Paco Rana » ou « Franco la grenouille », tant il inaugura de barrages), avec notamment les transferts du Tage vers la Méditerranée. Le lien entre les grands projets hydrauliques et le régime franquiste explique pourquoi le plan hydrologique national, visant notamment à transférer l'eau de l'Èbre vers le sud, est contesté pour des raisons environnementales, mais aussi politiques. Les régions autonomes veulent conserver « leur eau » face aux politiques de redistribution de l'État central.

La Californie : irriguer le rêve américain. Le réseau de transfert d'eau en Californie s'appuie sur des aqueducs construits par l'État fédéral, l'État de Californie et les services des eaux locaux. Ce système correspond à des priorités parfois contradictoires : pour l'État de Californie, l'irrigation de la Grande Vallée ; pour la municipalité de Los Angeles, l'approvisionnement d'une ville en forte croissance ; pour l'État fédéral, la fourniture en eau de l'une des principales implantations du complexe militaro-industriel. C'est un jeu complexe, avec une multitude d'acteurs et autant d'arguments (environnementaux, économiques, politiques), des luttes parfois très violentes impliquant des personnages devenus mythiques, comme W. Mulholland, ingénieur des eaux de la ville de Los Angeles : comment s'en étonner lorsqu'il s'agit d'apporter l'eau à Hollywood, qui, sans ces aqueducs, ne serait qu'une bourgade poussiéreuse ?

La Chine
CHINE
Mer de Chine
Taiwan
Hong-Kong
Macao
Taipei
Taiwan
Hong-Kong
Macao
Taipei
Mer de Chine
Mer Jaune
Mer Jaune
Mer de Chine
Mer de Chine
Mer de Chine

L’accès à l’eau, un enjeu mondial

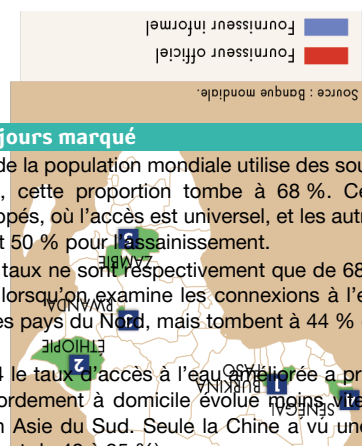
Le 6e Objectif de développement durable (ODD), défini en 2015 pour l’horizon 2030, vise à « garantir l’accès de tous à l’eau et à l’assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau ». Mais en 2022, 600 millions de personnes n’ont pas un accès minimal à l’eau potable et plus de 1,2 milliard à l’assainissement. C’est un objectif très ambitieux, sachant que les pays du Nord ont mis près d’un siècle pour fournir l’accès universel à l’eau à leurs populations.

La diversité des modes d’accès dans les villes du Sud

Dans les pays du Sud, il existe un gradient entre les « branchés », ceux qui ont accès à l’eau potable en permanence à domicile (standard occidental que l’on retrouve dans les quartiers aisés des grandes villes) et ceux qui n’ont pas du tout accès à l’eau potable.

Proches des premiers, on trouve les habitants connectés certes, mais à un réseau défectueux, tant en ce qui concerne la quantité d’eau (coupures fréquentes, pression insuffisante) que sa qualité (eau non potable). Ils sont obligés d’acheter de l’eau en bouteille ou de s’approvisionner aux bornes-fontaines, souvent gérées de façon collective. Celles-ci permettent un accès relativement aisé à l’eau. Mais, lorsque leur réseau est trop lâche, les habitants doivent faire appel à des colporteurs d’eau, petits entrepreneurs privés, utilisant des camions-citernes pour la vente en gros, puis d’autres moyens de transport pour les petits volumes (âne, vélo, charrette à bras).

Enfin, les plus mal lotis se contentent de sources non sécurisées (rivières, puits rudimentaires peu profonds souvent contaminés par les eaux usées), sans garantie sur la quantité ou la qualité. Contrairement à d’autres produits, il n’y a pas de lien entre la qualité du service et le prix payé : au contraire, plus le service est irrégulier et plus il y a d’intermédiaires, plus le prix est élevé.



Un contraste Nord-Sud toujours marqué

Selon l’OMS et l’Unicef, 91 % de la population mondiale utilise des sources d’eau de boisson de bonne qualité. Pour l’assainissement, cette proportion tombe à 68 %. Cette moyenne couvre une forte disparité entre les pays développés, où l’accès est universel, et les autres, où le taux n’est que de 80 % pour l’eau potable et seulement 50 % pour l’assainissement.

En Afrique subsaharienne, ces taux ne sont respectivement que de 68 % et 30 %. La différence Nord-Sud est encore plus marquée lorsqu’on examine les connexions à l’eau potable à domicile : les taux sont proches de 100 % dans les pays du Nord, mais tombent à 44 % dans les PVD et 16 % seulement en Afrique subsaharienne.

En outre, si entre 1990 et 2004 le taux d’accès à l’eau améliorée a progressé (de 71 à 83 %) dans les pays du Sud, le taux de raccordement à domicile évolue moins vite. En Afrique subsaharienne, il a stagné à 16 % tout comme en Asie du Sud. Seule la Chine a vu une progression rapide du taux de raccordement à domicile (passant de 48 à 95 %).

Partout ailleurs, l’accès à l’eau se fait par le développement des systèmes d’accès collectifs. Peut-on cependant parler d’échec global ? Cela serait oublier qu’une stagnation des taux, à cause de l’augmentation de la population, représente tout de même des millions de personnes nouvellement servies : 100 millions environ chaque année dans le monde entre 1990 et 20016. Ce chiffre donne à lui seul l’ampleur de l’effort demandé aux pays du Sud.

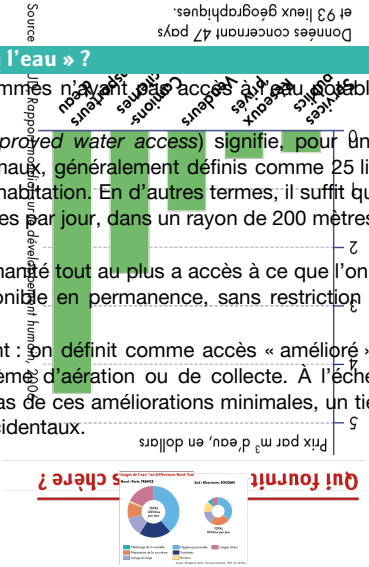
Qu'est-ce qu'avoir « accès à l'eau » ?

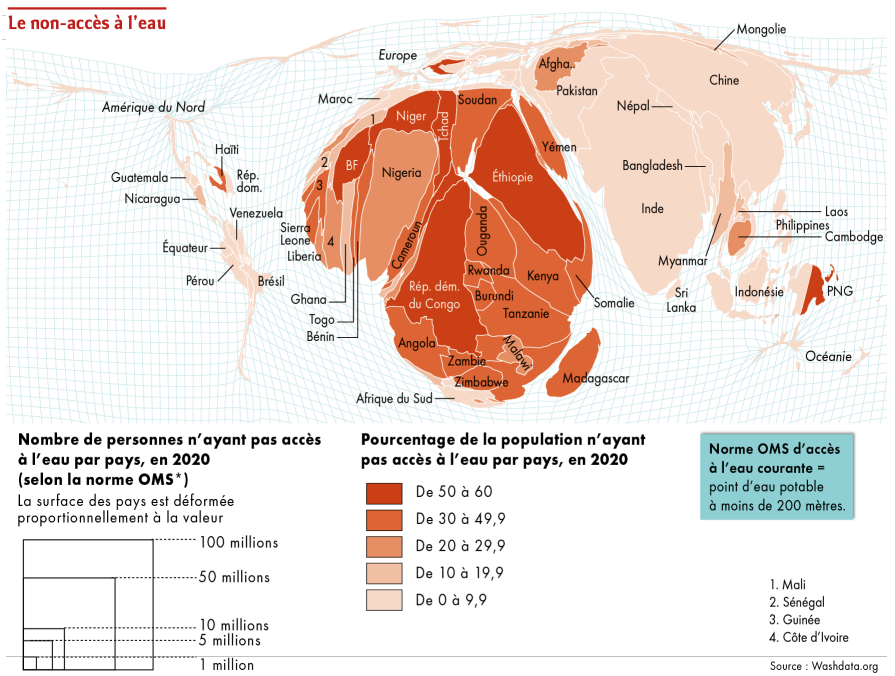
Le chiffre de 650 millions d'hommes n'ayant pas accès à l'eau potable ne dévoile qu'une partie des inégalités.

Avoir un « accès à l'eau » (*improved water access*) signifie, pour un quart de l'humanité, accéder seulement aux standards minimaux, généralement définis comme 25 litres par personne et par jour à moins de 200 mètres du lieu d'habitation. En d'autres termes, il suffit qu'une fontaine distribue de l'eau traitée, a minima quelques heures par jour, dans un rayon de 200 mètres pour que l'on considère qu'il y a un « accès à l'eau ».

En réalité, seul un tiers de l'humanité tout au plus a accès à ce que l'on considère en France comme la norme : une eau potable disponible en permanence, sans restriction de débit et avec une pression suffisante.

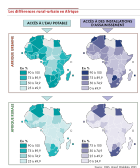
De même pour l'assainissement : on définit comme accès « amélioré » tout système meilleur que les latrines en plein air sans système d'aération ou de collecte. À l'échelle mondiale, plus du tiers de l'humanité ne dispose même pas de ces améliorations minimales, un tiers s'en contente et moins d'un tiers a accès aux standards occidentaux.





L'eau : un révélateur des inégalités sociales et de genre

L'accès à l'eau est très fortement lié à la position sociale : elle était un excellent révélateur des inégalités dans les pays du Nord jusqu'à la généralisation du service universel, elle l'est encore très largement hors du monde développé. Les statistiques d'accès à l'eau (et plus encore celles de l'assainissement) montrent ainsi une opposition entre les mondes rural et urbain, mais aussi entre les différents quartiers des métropoles du Sud.



Le retard des zones rurales

Les moyennes mondiales des taux d'accès à l'eau potable et à l'assainissement cachent de fortes différences entre les mondes rural et urbain : dans les pays du Sud, en moyenne, le taux d'accès à l'eau potable est de 82 % pour les zones urbaines, contre 70 % pour les régions rurales ; pour l'assainissement, les taux sont respectivement de 73 % et 33 %.

La majorité des ruraux sont dépendants de sanitaires collectifs : 25 % de connexions à domicile seulement en moyenne, 4 % en Afrique subsaharienne. Si, par rapport aux grandes villes concentrant les investissements, les zones rurales peuvent sembler à l'écart, il faut nuancer ce constat par la résistance des solutions traditionnelles, qui permettent parfois un accès à l'eau correct, et, inversement, l'inadaptation des solutions copiées sur le modèle occidental. On ne peut envisager, à court terme, de construire dans les campagnes africaines des réseaux semblables à ceux des pays européens. De même, toute solution trop « technique » et coûteuse risque de ne pas être durable faute de moyens financiers pour l'entretenir.

De grandes disparités peuvent exister aussi à l'intérieur d'une même région : un village au puits bétonné ou disposant d'un forage profond peut connaître une situation sanitaire très satisfaisante, alors que, tout près, une bourgade victime du surpompage des nappes phréatiques peut subir une crise catastrophique obligeant les femmes à aller chercher une eau de mauvaise qualité à plusieurs kilomètres et entraînant une forte prévalence des maladies liées à l'eau.

L'accès à l'eau dans les zones rurales est un défi majeur des prochaines années : il sera particulièrement difficile à relever car les investissements seront beaucoup plus durs à rentabiliser que dans les zones urbaines.

Plus on est pauvre, moins l'accès est facile, plus l'eau est chère

Cet axiome, valable dans tous les pays du Sud, était particulièrement vrai en Afrique du Sud à la fin de l'apartheid, au début des années 1990. Au niveau national, on constate le très fort retard des anciens bantoustans du Transkei et du Kwazulu sur la côte orientale, victimes d'un sous-investissement chronique : parfois moins de la moitié de la population, majoritairement rurale, a accès à l'eau potable, contre près de 80 % dans les grandes métropoles. Mais, là encore, il y a de très fortes différences : dans les quartiers riches autrefois réservés aux Blancs (Sandton ou les Northern Suburbs), le taux de raccordement à domicile est proche de 100 % et la consommation d'eau par foyer peut atteindre

400 litres par jour ; en revanche, dans les townships pauvres (Soweto ou Alexandra), autrefois réservées aux populations noires et métisses, les raccordements non individuels sont encore très importants. Les cartes de l'accès à l'eau reflètent encore assez fidèlement les découpages spatiaux imposés par le régime raciste d'apartheid.

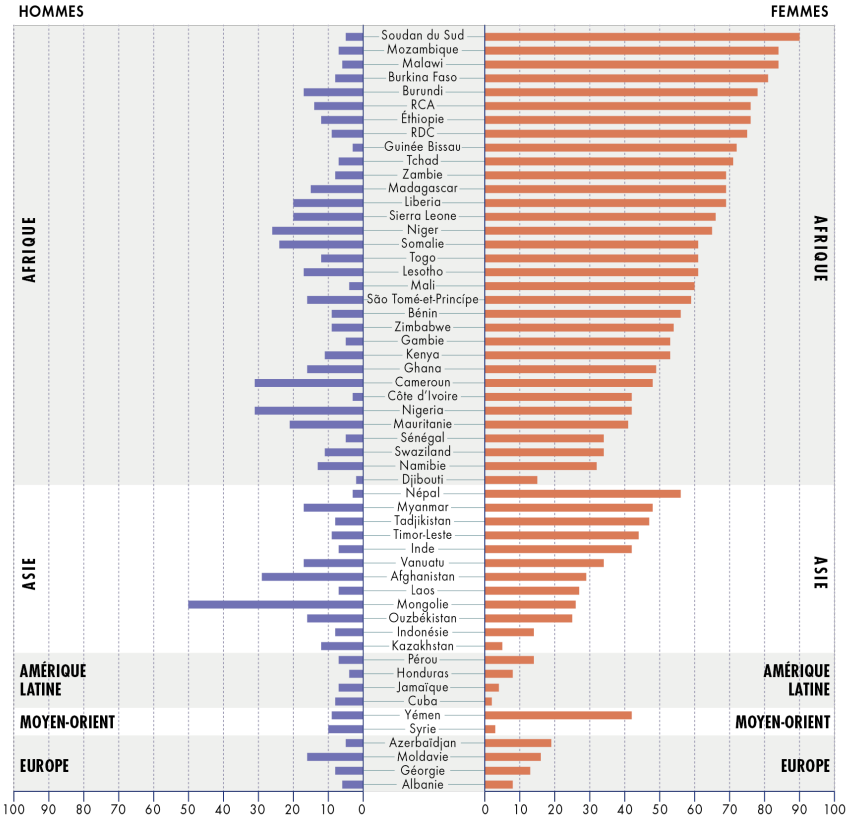
L'inégalité dans l'accès se double de celle du prix payé : si aucune tarification ou aide spéciale n'est mise en place, les pauvres paient l'eau plus cher que les personnes aisées. La consommation d'eau n'est pas « élastique » : tout le monde est obligé de consommer un minimum d'eau pour la boisson et la toilette. Une étude menée dans les faubourgs de Khartoum, au Soudan, a montré que la consommation de l'eau ne descend pas, même si le prix augmente, et que les plus pauvres dépensent parfois plus de la moitié de leur faible revenu pour l'eau.

On comprend dès lors pourquoi l'accès à l'eau des plus pauvres, qui est un des Objectifs de développement durable, est au cœur des problématiques de justice sociale dans les pays du Sud et pourquoi cette question est aussi sensible politiquement.

Seul l'accès universel à l'eau et à l'assainissement, qui ne sera pas atteint avant au moins le milieu de ce siècle, permettra de combler les injustices liées à ce bien irremplaçable.

L'inégal partage des responsabilités liées à l'eau entre hommes et femmes

Personnes responsables de la collecte d'eau dans les zones rurales*, selon le genre
(En % du total des personnes du même genre)



* Dans les pays où au moins 1 foyer sur 10 n'a pas de point d'eau à domicile.

Sources : OMS ; UNICEF.

Le « marché mondial » de l'eau

Les investissements nécessaires à la réalisation des Objectifs de développement durable sont considérables. Pour y parvenir, les capacités de financement des municipalités étant limitées, l'appel au secteur privé a été encouragé par les bailleurs de fonds internationaux. Cela s'est traduit par la mise en place de partenariats entre les pouvoirs publics, responsables de l'adduction d'eau potable, et de grandes entreprises spécialisées dans la gestion des services d'eau.

L'Europe entre public et privé

En Europe, la situation est très contrastée entre les États, selon les traditions. Certains services sont totalement publics (Pays-Bas, Suisse), alors que l'Angleterre a choisi la privatisation. Les autres pays se trouvent dans une situation intermédiaire, sans que cela ait une incidence notable sur le prix de l'eau ou la qualité du service. En France, Veolia Environnement (ex-Compagnie générale des eaux, créée en 1853) et Suez Environnement (ex-Société lyonnaise des eaux, fondée en 1867) sont impliquées dans la gestion de l'eau de la plupart des grandes villes. Avec la Saur, elles gèrent 72 % du marché français pour l'eau potable et 55 % de celui de l'assainissement, avec des contrats d'une durée moyenne de douze ans.

Les partenariats public-privé

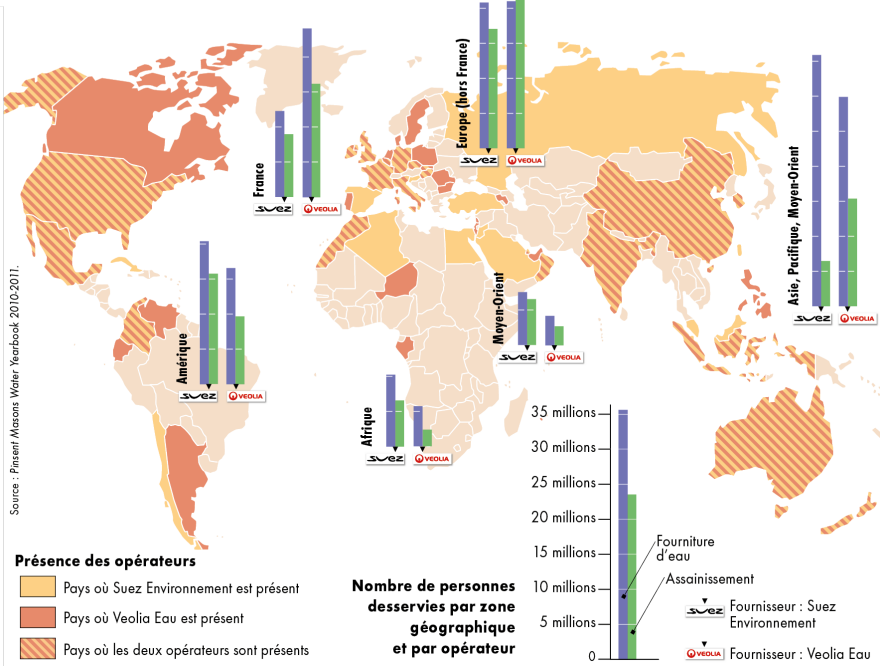
Ce que l'on peut appeler le « marché mondial » de l'eau est d'un type particulier : il ne s'agit pas d'échanger de l'eau entre pays ou régions, mais de répondre aux appels d'offres internationaux de municipalités créant des partenariats public-privé (PPP) pour la gestion de l'eau.

Un PPP est un contrat signé entre une autorité publique et une entreprise privée pour différents services liés à l'eau (construction du réseau, entretien, facturation, etc.). Il existe de fait de très nombreuses formes de délégation de service, de durée variable : de la privatisation complète des réseaux au Chili à la simple aide technique pour la facturation ou le repérage des fuites. Dans le monde, les PPP se multiplient mais restent très minoritaires : 90 % de la gestion de l'eau demeure publique. Pour les secteurs délégués, les leaders mondiaux sont Veolia Eau, Suez Environnement, RWE Thames Water et la Saur.

La délégation de service public, appuyée par les bailleurs de fonds, repose sur l'idée que seules les entreprises privées ont le capital et les savoir-faire nécessaires pour atteindre les objectifs ambitieux fixés par les pouvoirs publics. Si ceux-ci sont en effet atteints dans des grandes villes du Sud, comme Tanger, les PPP rencontrent parfois de fortes résistances populaires (critiques de la hausse du prix de l'eau, de l'opacité de certains contrats), qui participent au retrait d'entreprises privées de villes du Sud, comme à Cochabamba (en Bolivie) ou à Buenos Aires (en Argentine). Si tous reconnaissent le savoir-faire technique de ces dernières, le principe même de la délégation du service public est parfois remis en cause.

Tant en nombre qu'en montants investis, les PPP ont ainsi subi un reflux depuis le début des années 2000 dans les pays en développement, notamment en Afrique et en Amérique latine, ce qui laisse donc en suspens la question du financement des réseaux d'adduction d'eau et d'assainissement.

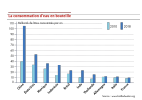
L'implantation des multinationales de l'eau françaises



Le marché de l'eau en bouteille

Le marché mondial de l'eau en bouteille fonctionne de façon beaucoup plus classique que celui de l'eau du robinet, puisque l'eau est vendue comme n'importe quelle autre marchandise. Il connaît un développement rapide, tant pour la forme traditionnelle des eaux minérales ayant des propriétés particulières que pour les eaux de source et enfin de l'eau « purifiée », vendue en bonbonnes de plusieurs litres et commercialisée par des grands groupes agroalimentaires (Coca-Cola, Nestlé, Danone).

La consommation est très forte en Europe, marché traditionnel, et se développe rapidement dans certains pays du Sud comme le Mexique, les Émirats arabes unis ou l'Arabie saoudite. Cette eau, cent à mille fois plus chère que l'eau du robinet, est parfois malheureusement la seule disponible dans les pays du Sud. Dans les pays du Nord, son coût économique et écologique est critiqué.



Le prix de l'eau potable

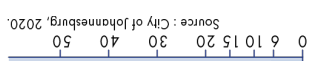
La production et la distribution d'eau potable à un coût, mais qui doit payer ? En Europe, l'extension des réseaux a été largement financée par l'impôt. Cependant, la tendance actuelle est de faire porter tous les coûts par le consommateur final : c'est le sens de la formule « l'eau paye l'eau ». Mais, pour les plus pauvres, non solvables, ce système n'est pas viable sans aides directes et paraît injuste sans systèmes de péréquation tarifaire.

Le prix de l'eau en France

Les factures d'eau comportent trois grands éléments : la distribution de l'eau (45 %), la collecte et le traitement des eaux usées (39 %) et les taxes et redevances (16 %). Le prix de l'eau potable comme de l'assainissement comprend une partie fixe (l'abonnement) et une partie variable calculée en fonction des volumes consommés, à laquelle il faut ajouter les redevances perçues par les agences de l'eau (au titre du prélèvement de l'eau dans le milieu naturel et au titre de la pollution), celles des voies navigables de France, ainsi que les taxes locales et la TVA sur l'eau potable et sur l'assainissement.

D'après l'Institut français de l'environnement (Ifen), les prix moyens départementaux payés en 2014 varient du simple au double : de 3,02 euros le mètre cube (Hautes-Alpes) à 5,55 (Lot-et-Garonne), la moyenne nationale s'établissant à 3,92 euros le mètre cube, soit 10 % en dessous de la moyenne européenne. Les variations s'expliquent principalement par l'origine de la ressource (1,20 euro en moyenne pour l'eau souterraine ; 1,60 euro pour l'eau de surface), sa qualité (mauvaise en Bretagne par exemple) et la configuration du réseau (répartition et densité de la population). S'y ajoutent des disparités entre villes et campagnes, et dans le mode de gestion.

Selon l'Ifen, les prix sont plus élevés quand l'organisation se fait au niveau des groupements de communes, ce qui est souvent le cas lorsque la gestion est déléguée – mais selon une étude du Boston Consulting Group, le retour en régie n'entraîne que rarement la baisse du prix de l'eau. Entre 1994 et 2014, les tarifs de l'eau ont augmenté en moyenne de 50 %, avec une progression très forte dans les années 1990, liée à la mise aux normes des services d'assainissement. Depuis 1999, la hausse suit le rythme de l'inflation générale. La facture d'eau représente en moyenne 0,8 % du budget des ménages (contre 2,4 % par exemple pour les télécommunications).



Source : City of Johannesburg, 2020.

De l'eau pour tous : à quel prix ?

L'accès à l'eau pour les plus pauvres est un but officiel de tous les opérateurs en charge de la distribution de l'eau, qu'ils soient publics ou privés. La difficulté est de mettre en pratique ces déclarations d'intention tout en maintenant la viabilité financière du service.

Dans le cadre général de la convergence entre pratiques « déléguées » et « publiques » en matière de gestion de l'eau, la tendance actuelle est d'essayer de s'approcher le plus possible du recouvrement des coûts par les consommateurs finaux. La pratique du *ring-fencing* (séparation entre le service d'eau et le reste du budget municipal) interdit de fait la subvention de l'eau par l'impôt.

Que faire alors pour que le prix de l'eau ne pèse pas de façon disproportionnée sur les plus pauvres ? Plusieurs systèmes sont testés, s'articulant généralement autour d'une tarification progressive : les premiers litres sont peu chers, puis le tarif par mètre cube consommé augmente graduellement, ce qui est censé favoriser les économies d'eau. Le prix, au-delà d'un certain seuil fixé généralement entre 30 et 40 m³ par mois et par foyer, doit être assez élevé pour décourager la surconsommation. L'Afrique du Sud est allée plus loin en rendant gratuits les six premiers mètres cubes consommés, soit l'équivalent d'une consommation de 50 l/j/hab. pour une famille de quatre personnes.

L'idée est que les plus riches consommateurs paient pour les plus pauvres. Malgré les contreparties (introduction de compteurs prépayés, restrictions et pénalités plus fortes en cas de consommation impayée), cette mesure permet une gestion sociale de l'eau qui corrige les effets du recouvrement total des coûts. Cela rejoint et dépasse même les recommandations du Panel mondial sur le financement

La tarification sociale de l'eau à Johannesburg

des infrastructures de l'eau (rapport Camdessus) qui indique « qu'un prix abordable de l'eau devra être assuré à chacun en mettant en place des structures tarifaires appropriées ».

Quels financements pour apporter l'eau à tous ?

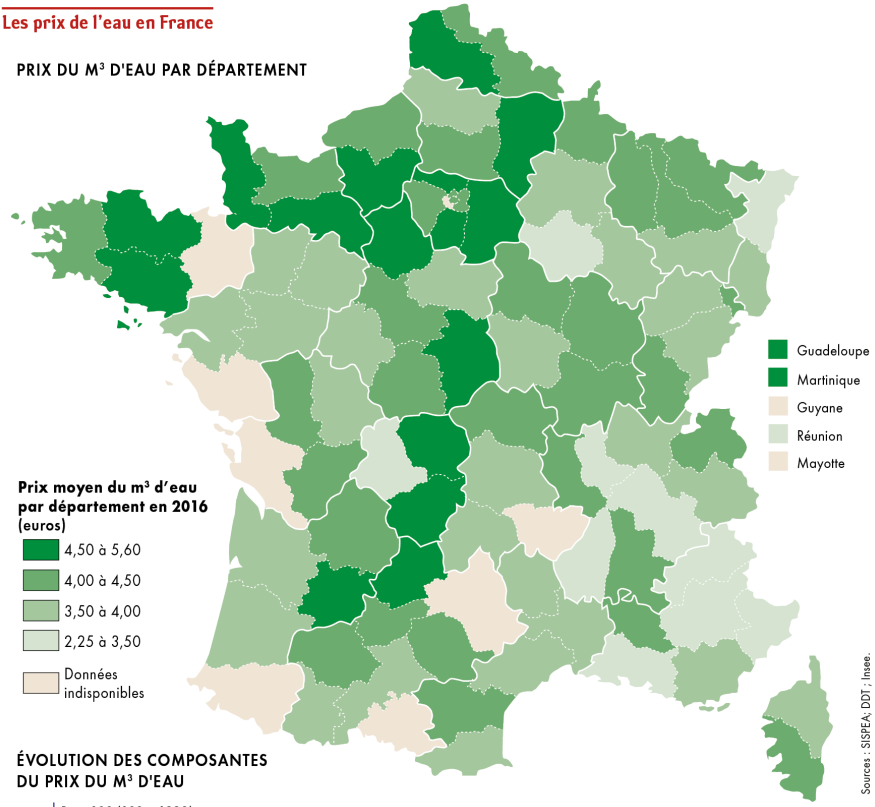
Alors que dans les pays développés, l'essentiel des financements pour donner accès à l'eau potable et à l'assainissement ont été réalisés par les municipalités sur une longue période, dans les pays du Sud, les efforts demandés dans des villes en forte croissance dépassent largement les capacités des finances locales, notamment en Afrique sub-saharienne. Comment, dès lors, financer la construction et l'entretien de nouvelles infrastructures ?

Au début des années 1990, les grandes entreprises multinationales semblaient être les seules capables d'apporter les financements nécessaires. De grands projets d'investissements, fondés sur des partenariats public-privé, ont donc vu le jour dans de grandes métropoles comme Buenos Aires ou Johannesburg. Aujourd'hui, si l'on excepte le cas particulier de la Chine, les grandes multinationales de l'eau semblent se retirer des pays les plus pauvres, devant la complexité des situations locales ou faute de pouvoir compter sur des profits suffisants. Et, de fait, la part des entreprises multinationales dans les financements des projets d'accès à l'eau potable diminue, après une forte progression dans les années 1990, passant de 13 % en 1995 à 7 % en 2012.

La question du financement nécessaire pour donner accès à l'eau à tous reste donc entièrement posée. Les pouvoirs publics (60 %) et les acteurs privés (15 %) locaux se partagent déjà 75 % des investissements.

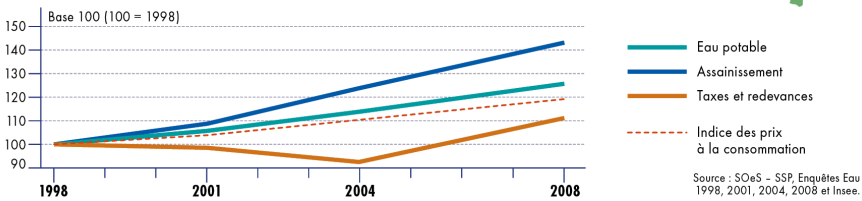
Les prix de l'eau en France

PRIX DU M³ D'EAU PAR DÉPARTEMENT



Sources : SISPEA, DDT, Insee.

ÉVOLUTION DES COMPOSANTES DU PRIX DU M³ D'EAU



Source : SOeS – SSP, Enquêtes Eau 1998, 2001, 2004, 2008 et Insee.

EN CONCLUSION

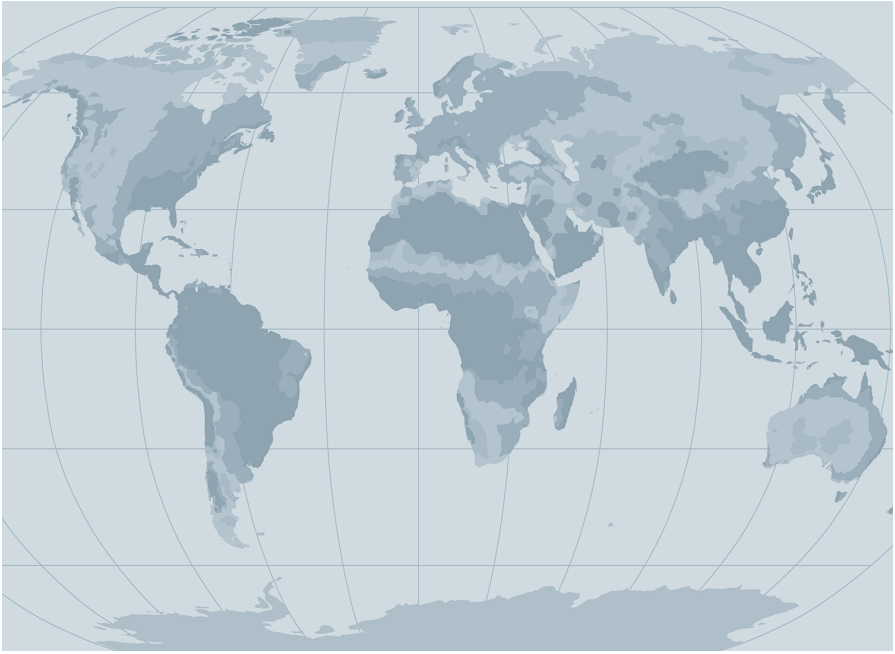
De l'eau pour tous ?

Une question de moyens

Apporter de l'eau à tous demandera un très important effort financier. Pour faire face à ces besoins, plusieurs modes de financement existent. On évoque souvent le rôle des organisations internationales comme la Banque mondiale et les actions de solidarité au niveau mondial ; mais celles-ci ne représentent que 18 % des investissements, contre 60 % de financements publics locaux, le reste se partageant entre les acteurs privés locaux (15 %) dont la part augmente, et les entreprises multinationales, comme Suez ou Veolia.

Le rôle des multinationales

À partir des années 1990, de grands projets d'investissements, fondés sur des partenariats public-privé associant multinationales de l'eau et collectivités locales, se sont multipliés dans des villes comme Manille, Buenos Aires ou Johannesburg. Toutefois, on assiste depuis quelques années au retrait des grandes multinationales de l'eau des pays les plus pauvres. Les coûts cachés de la construction, de l'entretien et de la gestion des réseaux d'eau dans des métropoles où les inégalités sociales sont très marquées font que les perspectives de profits s'éloignent rapidement. De plus, ces formes de « privatisation » ont rencontré de fortes résistances populaires, notamment en Amérique latine.



Quels défis pour le xxie siècle ?

Trois défis majeurs se dessinent pour les prochaines décennies : nourrir une population qui continue à augmenter, répondre à la demande croissante des villes, tout en préservant l'environnement. La perception d'une « crise de l'eau » est ancienne, comme le montre le nombre de conférences internationales depuis les années 1970. Ces réunions ont contribué à forger un « modèle » mondial de gestion de l'eau, dont les principes fondamentaux sont la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) et le passage d'une gestion de l'offre à une gestion de la demande. Cela consiste à limiter la construction de nouvelles infrastructures et à privilégier une action sur les utilisations actuelles, en favorisant les économies d'eau et, au besoin, en redirigeant la ressource vers des secteurs plus productifs.

La mise en place de la GIRE à l'échelle internationale s'est traduite par la multiplication des agences de bassin et des associations d'usagers ainsi que par l'application de politiques tarifaires encourageant l'économie de la

ressource, selon deux principes clés : « l’eau paye l’eau » et « le pollueur est le payeur ».

Des régions à risque

Avec l'augmentation combinée de la population et du niveau de vie, la situation déjà critique dans de nombreux bassins versants risque de s'aggraver. En 2030, plus de trente bassins versants, totalisant près de la moitié de la population mondiale, seront sous le seuil de stress hydrique. Mais les futures crises de l'eau seront, comme aujourd'hui, le fruit de la combinaison de facteurs environnementaux, économiques, politiques et sociaux.

Du risque hydrologique au risque « hydropolitique »

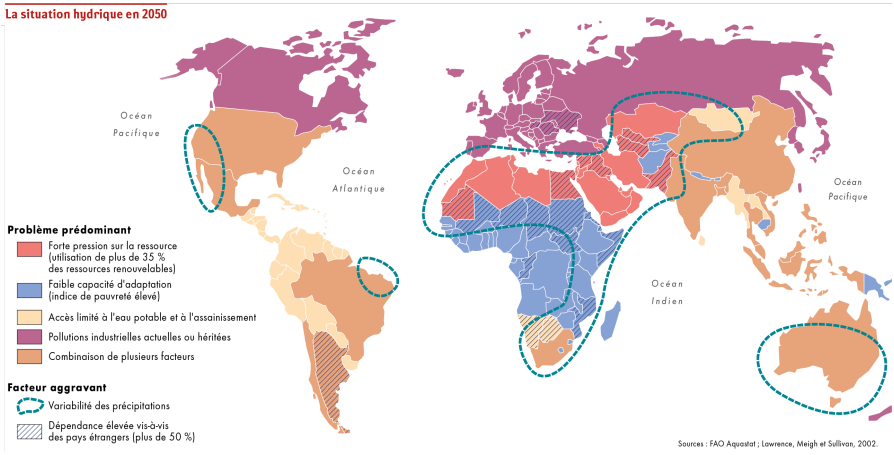
Un risque hydrologique est souvent défini par la combinaison d'un aléa climatique naturel (crue, sécheresse) et de la vulnérabilité des populations. En combinant ces deux facteurs, on peut identifier les régions potentiellement soumises aux risques hydrologiques et hydropolitiques. La carte ci-contre montre les principaux défis selon les régions considérées dans les prochaines décennies, certains pays comme la Chine et l'Inde devant faire face à plusieurs types de menaces.

Les situations les plus tendues sont encore largement déterminées par les facteurs climatiques : les régions arides et semi-arides, où la variabilité des précipitations est la plus forte. Mais les sécheresses et les inondations ne prendront un caractère catastrophique que là où la capacité d'adaptation des populations est limitée. La vulnérabilité est ainsi plus forte dans les pays pauvres : la bande soudano-sahélienne, qui va du Sénégal au Soudan, et l'Asie occidentale (hormis les pays du Golfe) semblent les plus exposées aux futurs aléas hydrologiques.

Dans les pays développés et émergents, les aléas sont aussi présents, mais des moyens sont mobilisés pour réduire la vulnérabilité : multiplication des politiques de prévention (plan de prévention du risque inondation en France), de mitigation (construction de barrages ou d'aqueducs pour faire face aux sécheresses) et d'intervention rapide lors d'événements graves.

L'apparition d'un « risque hydropolitique » tient également à deux autres facteurs : la fragmentation des bassins versants entre États et l'opposition marquée entre un ou plusieurs acteurs. Les bassins les plus sujets au risque hydropolitique sont le Nil, le Jourdain, le Tigre et l'Euphrate, ainsi que le Syr-Daria et l'Amou-Daria, qui se jettent dans la mer d'Aral. Même si les guerres de l'eau sont improbables, les tensions hydropolitiques réduisent considérablement les perspectives de traitement des risques hydrologiques. Ainsi, dans le bassin de la mer d'Aral, le Kazakhstan a entrepris de sauver la « Petite Aral » située sur son territoire, ce qui condamne d'autant plus rapidement la « Grande Aral » située majoritairement en Ouzbékistan.

La situation hydrique en 2050



Sources : FAO Aquastat ; Lawrence, Meigh et Sullivan, 2002.

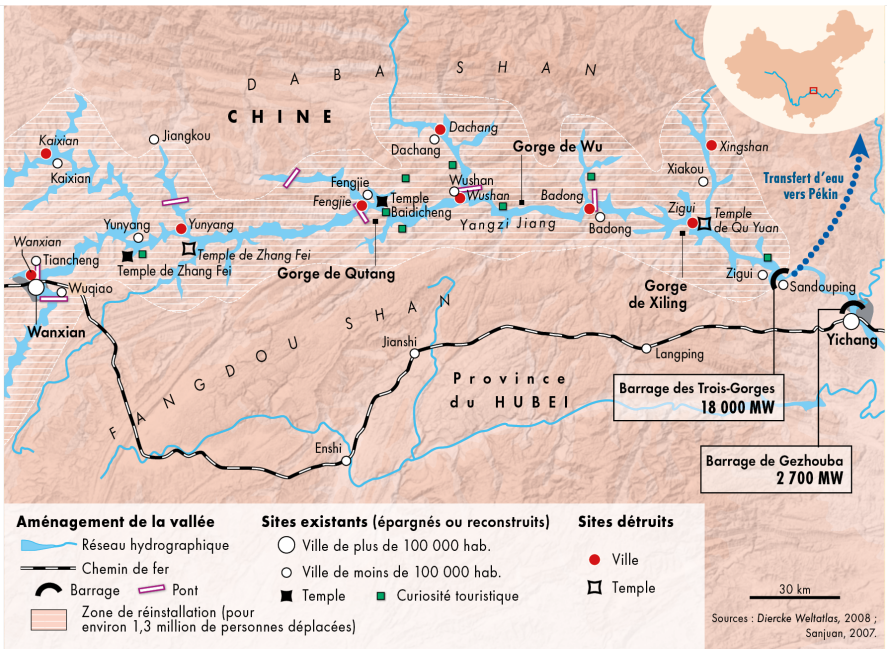
Le barrage des Trois-Gorges en Chine ou la maîtrise totale des eaux

Mis en service en 2009, le barrage des Trois-Gorges en Chine est la pièce maîtresse d'une politique nationale de contrôle total des ressources en eau. Haut de 150 m, avec un réservoir de près de 140 km³, il barre le Chang Jiang (ou Yangzi), le plus grand fleuve de Chine (et le quatrième du monde par son débit). L'usine hydroélectrique associée devrait produire à terme 10 % de la production électrique chinoise.

Les impacts environnementaux et humains sont à la mesure de l'ouvrage : près de 1,3 million de personnes ont été déplacées, des centaines de sites historiques et archéologiques ont été engloutis, et les impacts environnementaux, mal anticipés, pourraient encore se multiplier. Cet ouvrage pharaonique s'inscrit dans la lignée des grands travaux hydrauliques initiés, selon la mythologie chinoise, par l'empereur Yu le Grand (en 2000 avant J.-C.). C'est un pari risqué de maîtrise totale des eaux, face aux inondations et aux sécheresses catastrophiques qui ravagent le pays.

Ces grands barrages peuvent, à long terme, exacerber les concurrences régionales et nationales pour l'accès aux eaux stockées dans leurs immenses réservoirs.

Le barrage des Trois-Gorges



Les grands projets de collaboration entre États

C'est la navigation fluviale qui a poussé les États à mettre en place des organismes de coopération internationale pour gérer en commun les cours d'eau : la Commission centrale pour la navigation du Rhin a été instituée dès 1815 par le congrès de Vienne. Mais il a fallu attendre le XXe siècle pour que les coopérations internationales s'élargissent aux autres usages de l'eau, et voire la généralisation des organismes multinationaux de gestion des bassins versants.

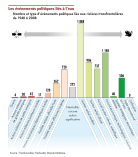
La vallée du Danube

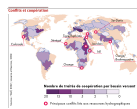
Des principes d'Helsinki aux organismes de coopération internationale

Pour résoudre pacifiquement les conflits liés à l'eau, l'Assemblée générale de l'ONU a adopté en 1997 une convention sur le droit relatif aux usages des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation, par 103 voix pour, 27 abstentions (dont l'Inde, le Pakistan, la France et l'Éthiopie) et 3 contre (la Chine, la Turquie et le Burundi). Cette convention réaffirme le concept d'utilisation équitable et raisonnable de la ressource (art. 5), l'obligation de ne pas causer de dommages significatifs aux autres États riverains (art. 7) et enfin une obligation générale de coopération (art. 8). Elle reprend les principes énoncés dès 1966 à Helsinki. Mais, davantage que les déclarations faites à l'ONU, la multiplication de grands organismes de bassins internationaux est le signe le plus évident de la coopération entre États. Aujourd'hui, la plupart des grands bassins mondiaux ont des commissions

permanentes pour coordonner leurs politiques, comme l'Initiative du bassin du Nil, fondée en 1999. Ces différentes agences sont soutenues par les organismes internationaux comme l'Unesco qui ont des programmes spécialisés dans l'aide à la résolution des conflits liés à l'eau.

Aujourd'hui, la recension réalisée par le géographe Aaron Wolf, de l'université de l'Oregon, sur 6 792 événements liés à l'eau entre 1948 et 2008 montre que, souvent, la coopération (5 225) l'emporte largement sur les conflits (1 295). Et ces derniers se limitent le plus souvent à de simples déclarations hostiles officieuses et modérées (720) ou officielles plus fortes (362). Les seuls actes de guerre étant liés à des conflits dépassant largement la question de l'eau, comme dans les guerres israelo-arabes.





La multiplication des organismes de bassin

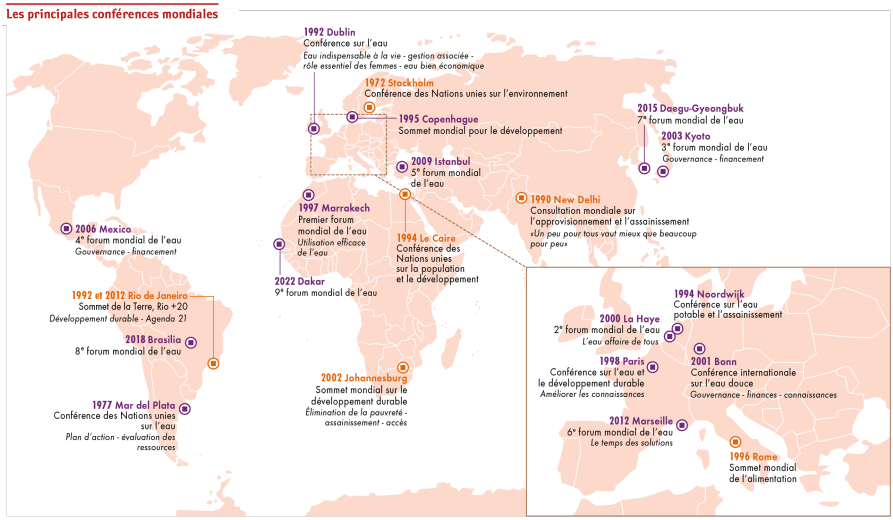
Long de 2 875 km, avec un bassin versant de 800 000 km² et partagé entre treize États, le Danube a été déclaré fleuve international pour la navigation par le congrès de Vienne en 1815. Il a été coupé par le Rideau de fer après la Seconde Guerre mondiale, et c'est sans concertation qu'ont été effectués les aménagements tant à l'Ouest qu'à l'Est, avec la construction du barrage des Portes de Fer et le projet de détournement du fleuve de Gabcikovo-Nagymaros, à la frontière entre la Hongrie et la Slovaquie. Ce dernier projet, qui a des conséquences écologiques importantes sur une des dernières zones peu aménagées du fleuve, a été remis en cause par la Hongrie lors de l'éclatement du bloc communiste.

Pour résoudre ces conflits et apporter des solutions globales aux problèmes du fleuve (pollutions héritées de la période communiste, accidents industriels graves comme la pollution de la Tisza au cyanure en 2000), les treize États riverains ont signé en 1994 une convention pour la protection du Danube. Depuis 1998, une commission permanente est chargée de la sensibilisation du public et de la coordination de programmes de recherche. Elle établit un forum de discussion permanent pour un minimum de coordination.

Le cas du Danube n'est pas isolé. Les années 1990 ont vu la multiplication de ces commissions internationales, telles que la Mekong River Commission (1995) ou l'Okavango River Basin Water Commission (1994), et le renforcement d'organisations plus anciennes, comme l'Office de mise en valeur du fleuve Sénégal (1972).

Vers la gestion de la demande ?

Dans les années 1970, la combinaison de l'échec économique des grands aménagements, des crises écologiques qui leur sont liées et de la faillite financière de nombreux opérateurs municipaux dans les pays du Sud ont conduit les spécialistes de la gestion de l'eau à proposer de nouvelles politiques. La conférence de l'ONU sur l'eau à Mar del Plata, en 1977, fut la première d'une longue série qui se poursuit actuellement.



La « communauté mondiale de l'eau »

La transposition de principes généraux en actions politiques est menée par des organismes internationaux traitant des diverses facettes des politiques de l'eau. Certains sont des institutions internationales, comme la Banque mondiale, qui finance les projets hydrauliques, ou le Programme hydrologique international de l'Unesco. D'autres sont des organisations mixtes, comme le Partenariat mondial de l'eau ou la World Commission on Dams, qui s'intéresse en particulier à la question des grands barrages. Les grandes entreprises privées collaborent aussi à ces organisations et à la préparation des forums mondiaux de l'eau, qui ont lieu tous les trois ans depuis celui de Marrakech en 1997 à Dakar en 2021.

Ces diverses institutions ont contribué à créer une « communauté mondiale de l'eau », composée de scientifiques, de chefs d'entreprise, d'élus, d'ingénieurs et d'ONG qui diffusent les principes d'une « nouvelle culture » de l'eau.

Des organismes alternatifs, opérant aussi au niveau mondial (International River Network ou Transparency International), s'intéressent également à la question de l'eau, amenant parfois les grandes institutions à revoir leurs pratiques.

Les principes de Dublin

Parmi les grandes conférences mondiales sur l'eau, celle qui s'est tenue à Dublin en 1992 tient une place particulière. Préparant le Sommet de la Terre de Rio, quatre principes fondamentaux y ont été formulés. Les trois premiers sont très consensuels. Le premier affirme que l'eau est une ressource vulnérable qui doit être gérée de façon globale au niveau du bassin versant : c'est la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE). Le deuxième insiste sur la participation nécessaire de tous les acteurs, avec la création d'associations d'usagers de l'eau. Le troisième souligne plus particulièrement le rôle des femmes dans la gestion de l'eau et leur implication indispensable dans les nouvelles politiques.

Le quatrième principe a donné lieu à de plus amples discussions. Il affirme ainsi que « Pour tous ses différents usages, souvent concurrents, l'eau a une valeur économique et, à ce titre, devrait être reconnue comme un bien économique », ce qui va à l'encontre de traditions religieuses (l'eau comme don de Dieu) ou philosophiques qui considèrent l'eau comme un bien avant tout social.

La traduction de ces principes dans les législations nationales a été relativement rapide, car elle était la condition de financement de projets hydrauliques. Elle s'est faite dans des pays aussi variés que l'Afrique du Sud ou la République islamique d'Iran. En effet, comme le concept de développement durable, les principes de Dublin restaient assez vagues pour pouvoir être admis par tous les gouvernements. Les instruments de gestion de l'eau en France (SAGE, SDAGE et loi sur l'eau de 2006) s'en inspirent largement, tout comme la directive-cadre européenne, adoptée en 2000. Celle-ci vise à atteindre en 2015 un « bon état écologique des eaux » européennes, fixant des objectifs précis et un calendrier contraignant, en utilisant des instruments économiques comme outils d'aide à la décision.

De la gestion de l'offre à la gestion de la demande

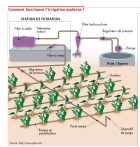
Développé à partir des cas particuliers de Johannesburg et d'Israël, le modèle d'Anthony Turton montre l'évolution à la fois des ressources disponibles et des politiques de gestion. La situation initiale est celle de ressources abondantes par rapport à la demande. L'eau est disponible sans efforts. Cette phase perdure jusqu'à ce que les ressources disponibles « naturellement » deviennent insuffisantes.

On entre alors dans une nouvelle ère, celle de l'intervention de l'État, des ingénieurs tout-puissants et de la mystique des grands travaux. Des travaux considérables et très coûteux, gérés le plus souvent au niveau national, sont réalisés pour domestiquer les eaux. La gestion de l'offre permet, grâce à la construction de grands barrages, de répondre à l'augmentation rapide des prélèvements.

La rupture qui met fin à cette période, parfois liée à un changement politique, est dans la plupart des cas douloureuse et correspond souvent à des catastrophes écologiques majeures. On entre alors dans une phase de gestion de la demande et d'une difficile réallocation des ressources disponibles. Ce processus ne peut se faire que grâce à des mécanismes transparents de gestion de l'eau et à la participation des populations concernées.

La révolution bleue

L'agriculture étant la principale consommatrice d'eau au niveau mondial, il est normal que des efforts très importants aient été tentés pour améliorer les rendements dans les périmètres irrigués et résoudre les problèmes écologiques qui s'y posent. Depuis une trentaine d'années, les avancées sont réelles et vont en s'accélérant : de nouvelles techniques toujours moins coûteuses se diffusent, au point qu'on peut parler d'une véritable « révolution bleue ».



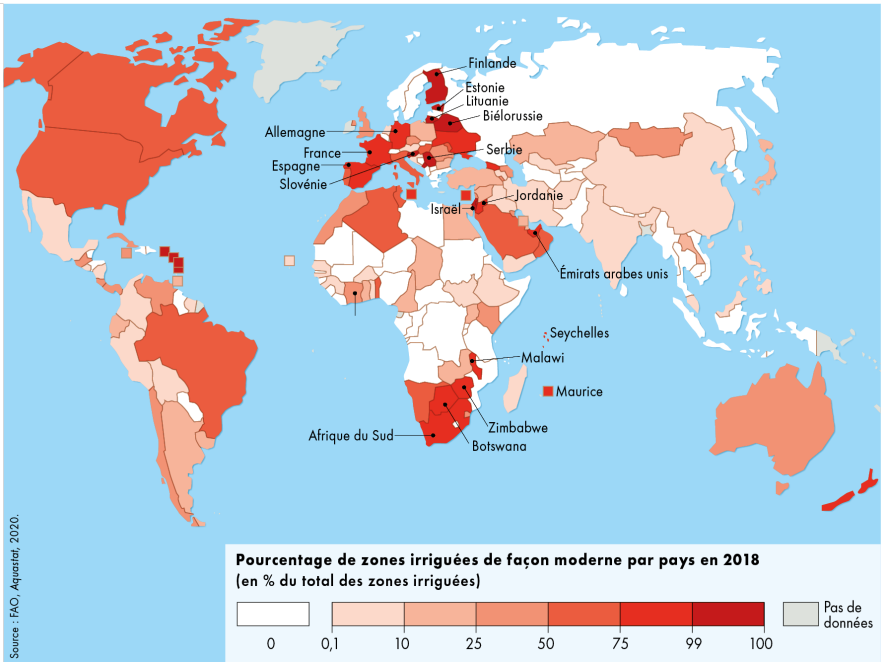
More crop per drop : le développement de nouvelles techniques

L'introduction de nouvelles techniques a deux buts principaux : augmenter le rendement à quantité d'eau égale (*more crop per drop*) et permettre de résoudre les problèmes environnementaux liés à l'irrigation. Avec la méthode traditionnelle d'inondation par gravité d'un champ, une grande partie de l'eau est perdue par évaporation ou infiltration. Deux types de techniques permettent de réduire ces pertes : la première est l'aspersion, qui reproduit artificiellement la pluie ; la seconde est la micro-irrigation, qui apporte l'eau au pied de la plante, grâce à des tuyaux en plastique. Ces améliorations sont accompagnées d'actions en amont (bétonnage des canaux d'adduction, pour éviter les pertes par infiltration) et en aval (amélioration du système de drainage pour empêcher la salinisation des terres). Elles permettent une amélioration rapide des rendements pour les agriculteurs. Mais les bénéfices sont plus difficiles à mesurer quand on considère un bassin versant dans son ensemble, car l'eau qui était considérée comme « perdue » sur une parcelle se retrouvait de fait dans les nappes phréatiques.

De la révolution verte à la révolution bleue

L'Inde est célèbre pour sa « révolution verte » qui a permis une hausse rapide des rendements agricoles. Un des piliers de cette révolution a été le développement de l'irrigation, les variétés à haut rendement ne montrant toutes leurs potentialités qu'avec un apport d'eau adéquat. Or ce développement s'est accompagné de gaspillages (45 % de l'eau perdue par infiltration), de surutilisation des nappes phréatiques et de problèmes écologiques graves : les systèmes de drainage parfois mal entretenus ont causé salinisation et engorgement des terres. Si l'on ajoute l'accumulation de pesticides et la fin de la hausse des rendements, la révolution verte a donc atteint ses limites. Depuis les années 1990, les appels à une « révolution doublement verte » (économiquement rentable, socialement équitable et écologiquement durable) se multiplient, révolution qui pourrait devenir dans le domaine de l'eau une « révolution bleue ». Toutes les techniques modernes sont utilisées et on a réhabilité les systèmes locaux de gestion, les réservoirs traditionnels (*tanks*), notamment en Inde du Sud.

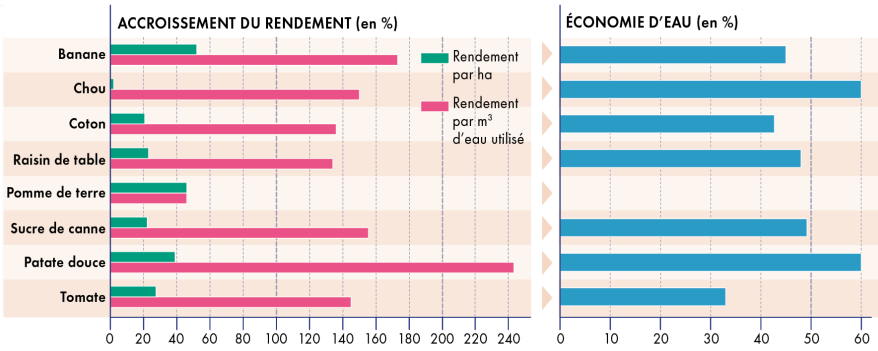
L'irrigation moderne dans le monde



More cash per drop : une transformation coûteuse

L'introduction de nouveaux systèmes d'irrigation induit une augmentation des coûts de production, même s'il y a des subventions. Pour rentabiliser les investissements consentis (accompagnés parfois d'une hausse du prix de l'eau), les agriculteurs doivent introduire de nouvelles cultures. On remplace ainsi le blé ou les céréales par les agrumes ou d'autres produits plus inhabituels dans les périmètres irrigués, mais à forte valeur ajoutée : raisin de table ou noix de pécan en Afrique du Sud, bananes au Maroc… Il s'agit d'avoir plus de revenus pour la même quantité d'eau. Ce phénomène entraîne en retour de fortes différenciations sociales entre les agriculteurs pouvant s'adapter et ceux qui sont contraints de revenir à l'agriculture sèche ou de migrer vers les villes, ce qui modifie profondément les structures agraires des pays concernés et met en cause les équilibres sociaux et économiques de régions entières.

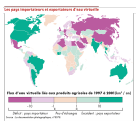
Quels gains de rendement pour quelles économies d'eau ?



Source : Postel *et al.*, 2001.

L'eau virtuelle

> Si l'eau a une valeur économique, elle peut potentiellement prendre part à la mondialisation des échanges. Mais un marché d'eau « réelle » global serait très difficile techniquement à mettre en œuvre et se heurterait à des résistances culturelles très fortes. En revanche, des volumes très importants d'eau sont échangés chaque jour sous forme « virtuelle », incorporés dans des biens de consommation.



Qu'est-ce que l'eau « virtuelle » ?

Le concept d'eau virtuelle a été introduit en 1993 par John Anthony Allan. Il renouvelle l'approche des questions liées à l'eau. La production des biens agricoles ou industriels consomme un certain volume d'eau, de 250 litres par kilo pour les pommes de terre à plus de 15 000 litres pour 1 kg de bœuf. Une partie de cette eau « réelle » est perdue pour tout autre usage dans le bassin versant de production. Mais elle est consommée ailleurs. Le clivage eau virtuelle/eau réelle dépend du point de vue et de l'échelle d'analyse : on appelle « eau virtuelle » l'eau utilisée pour produire dans un endroit des biens exportables et consommée « virtuellement » dans un autre espace.

Au niveau mondial, si les États n'échangent que très peu d'eau « réelle », les transferts d'eau virtuelle sont massifs : ils représenteraient près de 1 300 km³/an et sont en rapide augmentation. Comme l'eau virtuelle concerne surtout les produits alimentaires, les principaux pays exportateurs d'eau virtuelle sont aussi les « greniers » du monde : les États-Unis, le Canada, l'Australie et la France. À l'opposé, les principaux importateurs sont les États du Proche et du Moyen-Orient et la Chine, déficitaires en produits agricoles. L'Égypte « importe virtuellement » sous forme de blé l'équivalent de 3,5 km³ d'eau, principalement en provenance des États-Unis et de l'Australie, alors que la Thaïlande « exporte » de l'eau sous forme de riz. Le concept d'eau virtuelle est à manier avec précaution, mais il explique comment les pays déficitaires peuvent pallier leur manque relatif d'eau en s'en procurant « virtuellement » par l'importation de produits agricoles.

De l'eau à l'argent

Dans le calcul de rentabilité de l'eau virtuelle, le facteur principal n'est pas la production en kilo par mètre cube, ni même la valeur nutritive, mais bien le prix sur le marché mondial. Il s'agit d'obtenir la meilleure valorisation (*more cash per drop*), en jouant sur des avantages comparatifs : les pays pauvres en eau sont souvent les plus ensoleillés et bénéficient de coûts de main-d'œuvre très faibles. Théoriquement, en substituant au blé des agrumes, un agriculteur d'un pays peu arrosé peut gagner près d'un dollar par mètre cube.

Dans certains pays, des marchés locaux de l'eau ont été mis en place : ils permettent à ceux qui en ont les moyens de se lancer dans des productions spéculatives à fort rendement, d'acheter leurs droits aux agriculteurs qui ne le peuvent pas et ainsi de mieux valoriser « globalement » l'eau du pays.

La valeur de l'eau dans les produits agricoles

Produit	Eau (m³/tonne)	Prix moyen sur le marché mondial en 2000 (dollars/tonne)	Valorisation de l'eau (dollars/m³)
Blé	1 100	150	0,14
Riz	2 500	270	0,10
Citron	800	900	1,13
Raisin de table	1 300	750	0,61

Source : Arcs Hydrologiques

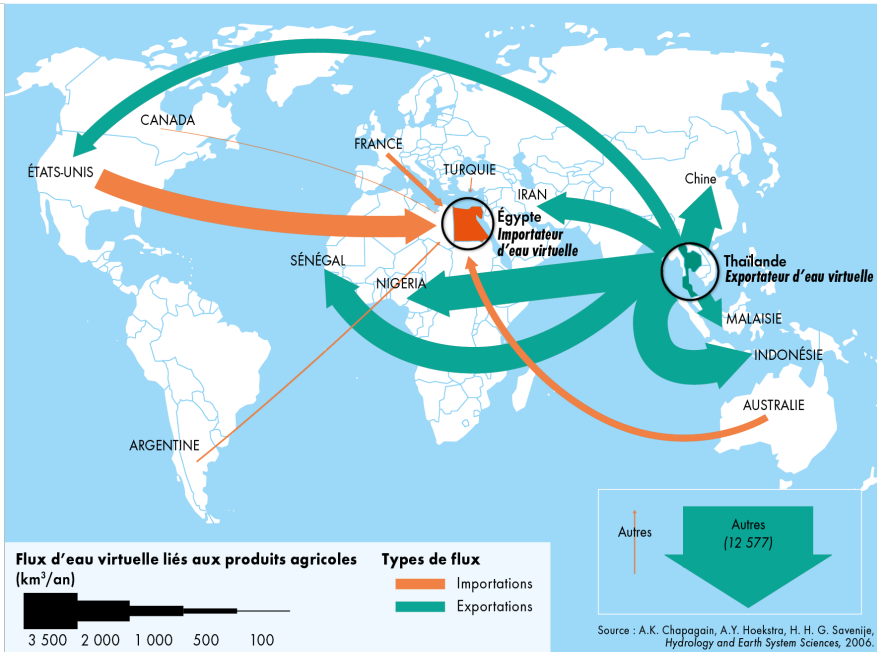
Les limites d'une conception strictement économique de l'eau

La prise en compte de l'eau virtuelle a été présentée comme une solution aux problèmes de raréfaction de l'eau, notamment en Asie occidentale et en Afrique du Nord.

En théorie, ces pays aux ressources limitées devraient exporter des denrées alimentaires à faible teneur en eau mais chers, et importer des produits peu chers mais incorporant beaucoup d'eau. Entre les deux rives de la Méditerranée, l'échange idéal impliquerait des céréales cultivées au Nord et des agrumes venus du Sud. Dans la pratique, c'est l'équivalent d'un second Nil qui s'écoule vers les pays d'Afrique du Nord et d'Asie occidentale sous forme d'eau virtuelle. Cette perspective permettrait théoriquement de mieux valoriser l'eau et de préserver l'environnement, en ne construisant pas de coûteux aménagements hydrauliques.

Cependant, l'eau virtuelle est loin d'être une solution miracle aux problèmes de l'eau dans ces régions. En effet, le marché des produits agricoles n'est pas un marché parfait : il existe des barrières tarifaires et non tarifaires (normes de qualité) qui empêchent les pays du Sud d'exporter leur production. De plus, les cours mondiaux fluctuent : une hausse rapide du prix des céréales, comme celle qui a eu lieu entre 2006 et 2008, rend la substitution de culture bien moins intéressante. Enfin, l'abandon de la culture des céréales met en péril la souveraineté et la sécurité alimentaire des États. Si une pénurie généralisée de céréales au niveau global se produisait, il est évident que les pays producteurs privilégieraient d'abord leur consommation interne en taxant fortement les exportations. Les pays ayant fait le choix de l'eau virtuelle se trouveraient en très grande difficulté et connaîtraient des « émeutes de la faim ». Ces exemples montrent les limites d'une vision strictement économique de l'eau : par son caractère irremplaçable et vital, l'eau a une valeur qui dépasse largement sa valorisation monétaire.

Les exportations/importations d'eau virtuelle de la Thaïlande et de l'Égypte



Source : A.K. Chapagain, A.Y. Hoekstra, H. H. G. Savenije, *Hydrology and Earth System Sciences*, 2006.

Les solutions innovantes dans les villes

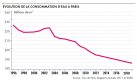
> Dans les pays développés et les pays émergents, il semble que les progrès technologiques, combinés avec l'éducation des consommateurs, permettront de réduire « l'empreinte hydrologique » des grandes villes. Dans les pays plus pauvres, les solutions aux problèmes de l'eau ne peuvent se limiter aux améliorations techniques, mais passent surtout par la création de modes de gestion novateurs associant étroitement les populations concernées.

Une solution d'avenir : la réutilisation des eaux usées

Techniquement, l'eau sortant des usines d'assainissement les plus modernes pourrait être utilisée pour les usages domestiques : une ville pourrait ainsi fonctionner presque en circuit fermé. À notre connaissance, de tels systèmes n'ont pas encore été mis en place. Mais les eaux usées traitées sont de plus en plus employées, hors de leur usage traditionnel qu'est l'irrigation.

À Berlin, après un parcours en rivière, elles sont réinfiltrées dans les nappes phréatiques où la ville puise l'essentiel de son eau potable. Barcelone envisage de développer les techniques de réutilisation pour combler ses ressources déficientes, évitant ainsi d'autres solutions coûteuses comme le dessalement ou le transfert d'eau à longue distance, avec un impact écologique bien moindre. Les nouveaux « écoquartiers », en Chine ou en Europe, utilisent largement ces systèmes de recyclage des eaux usées, associés à la récupération des eaux de pluie. À l'intérieur des bâtiments, les eaux « grises » (issues des lavabos, douches et baignoires), mélangées à l'eau de pluie, pourraient aussi être remployées.

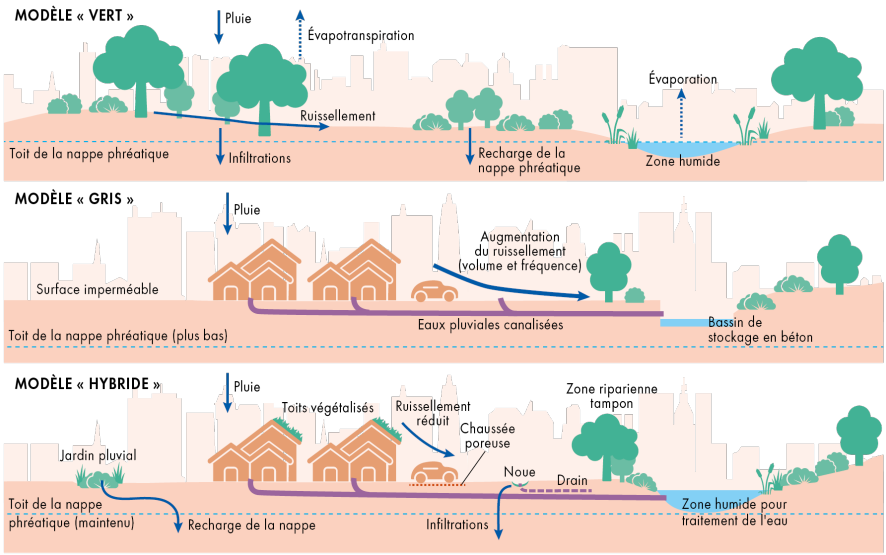
À l'échelle des États, l'eau recyclée peut être une solution pour les pays soumis au stress hydrique : Israël réutilise 80 % de ses eaux usées, ce qui couvre déjà 25 % de ses besoins ; l'Espagne et l'Australie ont lancé de vastes programmes pour atteindre un taux de recyclage de 50 %.



La réduction de la consommation

Contrairement aux idées reçues, la consommation par habitant se stabilise, voire diminue dans la plupart des villes des pays du Nord. La réduction est de 10 % à Barcelone en dix ans, de 15 % à Los Angeles ou à Berlin et atteint 50 % à Budapest entre 1990 et 2010. Cette évolution vient des progrès techniques et de l'éducation des consommateurs. Cette « décroissance » rapide, si elle se poursuit, pourrait mettre en danger la stabilité financière des opérateurs publics comme privés (leur revenu reposant sur la consommation), alors même qu'ils introduisent des techniques nouvelles et coûteuses pour améliorer les systèmes de traitement et d'assainissement comme la filtration par membrane et la désinfection par ultraviolets.

Les infrastructures vertes, grises et hybrides de traitement de l'eau



Source : Y. Depietri, T. McPhearson « Integrating the Grey, Green, and Blue in Cities: Nature-Based Solutions for Climate Change Adaptation and Risk Reduction », 2017.

Les progrès dans les villes du Sud

Dans les villes du Sud, le problème n'est pas uniquement technique, il est surtout financier et sociopolitique. Le rôle grandissant des ONG et le développement de la coopération décentralisée entre services d'eau permettent d'apporter des solutions à des problèmes locaux. Cependant, pour éviter l'échec des investissements massifs réalisés pendant la décennie mondiale de l'eau (1980-1990), ceux-ci doivent tenir compte des spécificités des villes du Sud.

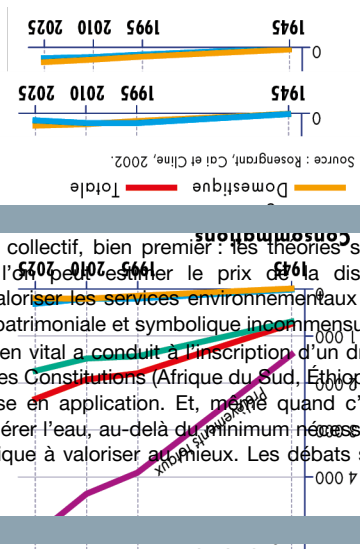
Une première solution est de favoriser la participation des populations, en faisant de « l'usager-client » un « usager-partenaire ». Cela peut prendre diverses formes, de simples forums d'information à la modification en profondeur des systèmes de gestion, par l'association des habitants à la planification du réseau et à la gestion du service. Ces expériences ont conduit à la remise en cause du modèle de service d'eau centralisé à l'occidentale, avec un réseau uniforme pour tous.

On assiste ainsi à la multiplication de micro-opérateurs privés desservant un quartier à partir de puits ou de bornes-fontaines, voire à la construction de petits réseaux locaux, véritables circuits alternatifs de distribution. La solution à la question de l'eau pour tous dans les villes du Sud passera sans doute par cette « flexibilité », avec tous les risques que présente la fragmentation des espaces urbains. Elle passe également par le renforcement des solidarités existantes et l'idée d'un recouvrement « durable » des coûts.

Malheureusement, il arrive que la réduction d'eau soit « forcée » par une « crise ». Ainsi, dans la municipalité du Cap en Afrique du Sud, pour éviter le « jour zéro » et l'effondrement du système d'adduction d'eau en 2018 à cause d'une sécheresse prolongée, les habitants ont dû réduire précipitamment leur consommation de 150 à 50 litres par jour.

Quels scénarios pour 2030 ?

Les deux défis majeurs des prochaines années seront d'améliorer la productivité de l'agriculture irriguée, pour nourrir une population mondiale qui pourrait atteindre 9 milliards d'habitants en 2050, et de faire face à la demande grandissante des villes en répondant aux aspirations au progrès du niveau de vie dans les pays du Sud. Relever ces défis demandera de prendre en compte la quantité d'eau disponible, mais aussi sa qualité et enfin sa juste distribution.



Source : Rosengrant, Cai et Cline, 2002.

L'eau : un droit pour tous ?

Marchandise, bien public, bien collectif, bien premier : les théories sont nombreuses pour définir le statut de l'eau. En effet, si l'on peut estimer le prix de la distribution d'eau potable et de l'assainissement, si l'on peut valoriser les services environnementaux rendus par les zones humides, l'eau possède aussi une valeur patrimoniale et symbolique incommensurable.

La vision de l'eau comme un bien vital a conduit à l'inscription d'un droit à l'eau, patrimoine commun de la nation, dans de nombreuses Constitutions (Afrique du Sud, Éthiopie ou Équateur). Mais il reste un gouffre entre le droit et sa mise en application. Et, même quand c'est le cas (Afrique du Sud), la tendance actuelle est de considérer l'eau, au-delà du minimum nécessaire à la survie des populations, comme une ressource économique à valoriser au mieux. Les débats sur le statut de l'eau sont donc loin d'être éteints.

Les scénarios possibles

Au niveau global, plusieurs instituts se sont risqués à établir des prévisions pour 2030, retenant généralement trois hypothèses.

La première poursuit les tendances actuelles, avec pour conséquence une aggravation des problèmes dans les pays du Sud et une situation particulièrement difficile dans certains bassins versants (Nil, Niger ou Indus).

Un autre scénario serait la mise en œuvre réussie des techniques innovantes, tant dans l'agriculture irriguée que dans les villes du Nord et du Sud. Consommation en eau globale et pression sur l'environnement n'augmenteraient alors que très peu. On aurait un accès quasi universel à l'eau et une production agricole suffisante grâce à l'agriculture irriguée.

Enfin, on ne peut bien sûr écarter une « crise de l'eau » qui combinerait, faute d'investissements, une augmentation des pollutions et une baisse de rendement d'une agriculture irriguée mal gérée. Les conséquences seraient globales, avec une déstabilisation durable du marché agricole, la multiplication des famines et le développement de troubles sociaux dans les villes.

À l'horizon 2030, il est encore difficile de trancher entre ces scénarios, mais les principales évolutions seront sans doute très différentes selon les pays. Dans les pays du Nord, qui ont fixé des objectifs ambitieux de dépollution, se posera surtout la question du traitement coûteux des pollutions agricoles diffuses et industrielles héritées. Les pays émergents mettront en place des solutions techniques pour faire face aux pénuries, apporter de l'eau à tous et augmenter leur production agricole, mais probablement au prix d'une dégradation de la qualité des eaux. Enfin, dans les pays les plus pauvres,

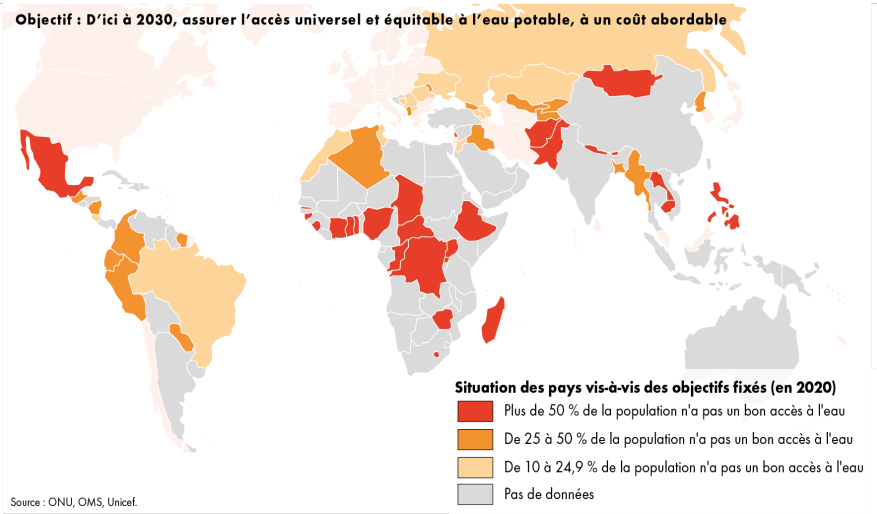
où la capacité à maîtriser l'eau reste insuffisante, on peut craindre la persistance des problèmes actuels, et même leur aggravation car la pression sur la ressource augmentera parallèlement à la croissance de la population.

La question du réchauffement climatique

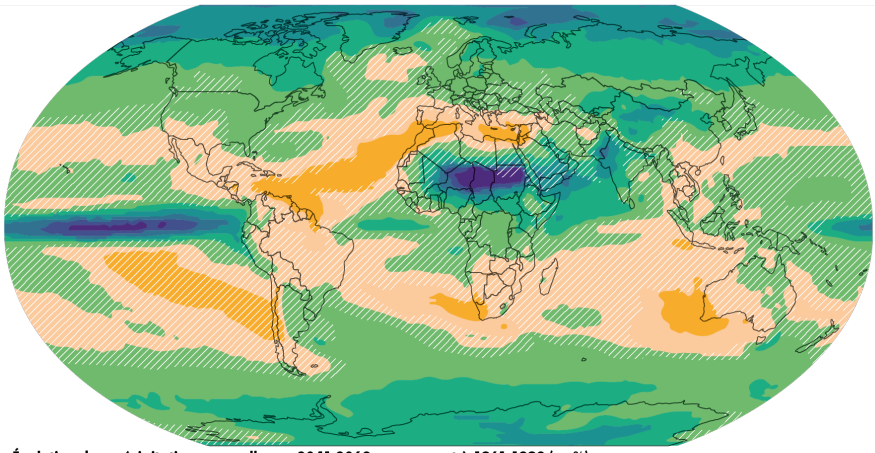
Les effets du réchauffement climatique sur le cycle de l'eau sont mieux connus, mais la modélisation de la vapeur d'eau reste très partielle. Le sixième rapport du GIEC indique que l'on verra probablement, au niveau mondial, une « accélération » du cycle de l'eau, avec des pluies encore plus abondantes dans les régions déjà fortement arrosées. Dans les zones semi-arides, les situations seraient contrastées : les pays sahéliens verront peut-être des pluies plus abondantes, alors que le bassin méditerranéen connaîtrait des sécheresses plus longues. Il y a de plus une divergence d'échelle entre les mailles des modèles, encore très larges, et la réalité très locale de la gestion de l'eau, déterminée par la forme des bassins versants, la présence de nappes souterraines ou de lacs, les types d'usages…

Si les conséquences du réchauffement climatique restent peu prévisibles dans l'état actuel des connaissances, on peut regretter que l'attention portée à cette question masque parfois des problèmes réels et bien documentés qui affectent le cycle de l'eau : érosion des sols, disparition de nombreux écosystèmes fragiles, pollution des nappes phréatiques.

Les objectifs du développement durable



Source : ONU, OMS, Unicef.



Évolution des précipitations annuelles en 2041-2060 par rapport à 1961-1990 (en %)

- 10 | 0 | + 10 | + 20 | + 30 | + 40 | + 50

Incertitude des modèles

Source : GIEC, 2021.

EN CONCLUSION

Quels défis pour le xxie siècle ?

Des progrès techniques, facteurs d'espoir

Les progrès techniques ont permis d'améliorer le traitement des eaux usées et de considérablement baisser le coût énergétique (donc le prix) de l'eau potable issue du dessalement d'eau de mer. De même, le système du goutte à goutte a réduit le volume d'eau nécessaire pour la production agricole irriguée.

Des carences politiques dramatiques

Cependant, les principaux obstacles à la résolution des problèmes liés à l'eau ne sont pas d'ordre technique. Ils proviennent essentiellement de modes de gestion inadaptés et recoupent les inégalités spatiales préexistantes. Plus de trois milliards de personnes n'ont pas un accès satisfaisant à l'eau potable, ce n'est pas à cause d'une pénurie d'eau ou de difficultés techniques, mais bien parce qu'il y a de graves carences politiques, tant au niveau local (municipalités) qu'au niveau global, où l'eau est loin d'être une priorité, malgré les nombreuses déclarations de principe. Lorsque l'on considère le coût humain de ce manque de considération, on comprend mal qu'il ait fallu plus de 60 ans à l'Assemblée générale de l'ONU pour déclarer « le droit à une eau potable salubre et propre comme un droit fondamental, essentiel au plein exercice du droit à la vie ». Et qu'il y ait eu 41 abstentions…

Conclusion générale

Les Nations unies soulignent depuis plus de 40 ans l'importance de l'eau, « essentielle pour le développement durable, l'intégrité de l'environnement et l'élimination de la pauvreté et de la faim, est indispensable à la santé et au bien-être des hommes».

Quelles que soient les évolutions futures, des solutions ne seront apportées aux problèmes de l'eau qu'à travers la mise en place de politiques innovantes fondées sur trois principes : la diversité, la progressivité et la solidarité.

Diversité

La prise en compte de la diversité des situations, à la fois des ressources – quantité et qualité de l'eau disponible –, mais aussi de l'histoire et des configurations socio-spatiales est indispensable. Il n'y aura pas un modèle unique pour tous, calqué sur l'expérience des pays développés. Il faut ainsi adapter le service aux besoins réels des citadins, et penser en termes de gradient de service, de la borne-fontaine à l'accès complet (robinet dans le foyer et système d'assainissement), en adoptant des modes de gestion adaptés aux configurations territoriales des villes et à leur histoire institutionnelle pour obtenir des systèmes de régulation efficaces. Il en va de même pour les modes de gestion : le principe de délégation de service public rencontre de fortes résistances dans des États d'Amérique latine comme la Bolivie, alors qu'il peut être mieux accepté ailleurs. Il serait d'ailleurs paradoxal d'instituer un modèle unique mondial, alors qu'en Europe même les situations sont extrêmement diverses, entre les Pays-Bas où la gestion est publique à 100 %, l'Angleterre où elle est déléguée à 100 %, et la France qui est dans une situation intermédiaire.

Progressivité

Les nouveaux modes de gestion, comme les infrastructures, doivent être introduits progressivement. L'échec relatif de la « Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement (1980-1990) » lancée par les Nations unies a montré que la construction « clé en main » d'un réseau semblable à celui des pays développés n'est pas une solution viable à long terme. En revanche, l'avancée progressive des réseaux peut permettre une amélioration durable de l'accès à l'eau. La « transition hydraulique » vers l'accès universel se fait alors par étapes, en passant par les bornes-fontaines, les micro-réseaux puis le raccordement au réseau principal, avec chaque fois la participation des populations concernées.

Solidarité

Enfin, la solution à la « crise de l'eau » ne pourra se faire sans reposer sur des formes de solidarité. Cela concerne évidemment la solidarité internationale, tant les besoins de financements sont importants. Mais cela implique surtout des formes d'entraide qui existent très souvent dans de multiples pays. Dans les pays de tradition musulmane, tout comme chez de nombreuses populations d'Amérique latine ou d'Asie, il reste impensable de ne pas partager son eau avec ceux qui en sont privés. Ces formes traditionnelles de solidarité peuvent être intégrées dans les systèmes de tarification actuels. Aujourd'hui, près de soixante pays ont adopté ce genre d'aide au paiement de la facture d'eau pour les populations défavorisées, avec des formules diverses, soit en délivrant un quota d'eau gratuit, soit en fournissant des aides financières directes aux ménages ne pouvant payer leur facture.

Là encore, solidarité, progressivité et diversité, combinées, peuvent apporter des solutions durables.

Annexes

GLOSSAIRE

Anastomose
Forme d'un cours d'eau où les différents chenaux dessinent un réseau complexe qui, vu en plan, peut faire penser à une tresse.

Aquifère
Formation perméable d'un point de vue lithologique où s'accumule l'eau et qui peut contenir celle-ci en quantité exploitable.

Aréique
Se dit d'une région aride où l'on n'observe aucune trace d'écoulement superficiel.

Bassin versant
Espace géographique alimentant un cours d'eau et drainé par lui. Le bassin versant a pour axe le cours d'eau et pour limites la ligne de partage des eaux le séparant des bassins versants adjacents. Synonyme : bassin hydrographique.

Capacité au champ, capacité de rétention
Quantité d'eau contenue dans la microporosité d'un sol.

Charge solide
Quantité de matériaux solides transportés en solution, en suspension ou en charge de fond par un cours d'eau.

Coefficient mensuel de débit
Correspond au rapport entre le débit mensuel et le débit moyen annuel.

Crue
Augmentation aléatoire et brutale du débit d'un cours d'eau, qui se traduit par une augmentation de son niveau et, par conséquent, des débordements dans le lit majeur.

Cryosphère
Zone caractérisée par la présence de neige, de glace ou de sols gelés en raison de basses températures en haute latitude ou altitude.

Débit
Volume d'eau écoulé pendant une période donnée, exprimé généralement en litres par seconde, en mètres cubes par seconde, ou encore en kilomètres cubes par an.

Débit réservé
Débit minimal qui doit être maintenu pour la sauvegarde des écosystèmes, généralement défini pour les cours d'eau en aval de grands barrages.

Endémisme
Caractéristique des espèces dont l'aire de répartition est limitée à un seul espace donné.

Endoréique • exoréique
On appelle endoréique une région où l'écoulement s'effectue vers des dépressions fermées intérieures, sans lien avec les océans. Les bassins versants débouchant dans l'océan sont dits au contraire exoréiques.

Évapotranspiration
Ensemble de phénomènes comprenant à la fois l'évaporation sur les surfaces d'eau libre (par exemple, les lacs) et la transpiration biologique, essentiellement des végétaux.

Exsurgence
Apparition à l'air libre, sous forme de source, d'un écoulement souterrain.

Inlandsis
Calottes de glace des régions polaires, qui recouvrent le Groenland et l'Antarctique.

Karst
Formes de relief développées dans des roches solubles (calcaire, gypse, dolomie, etc.) par dissolution, précipitation et érosion.

Lit majeur ou lit d'inondation
Partie d'une vallée occupée lors des crues. La limite externe du lit majeur correspond au niveau de la plus grande crue historique enregistrée.

Lit mineur
Chenal le plus bas au sein d'une vallée contenant l'écoulement permanent des eaux d'un cours d'eau.

Module
Débit moyen d'un cours d'eau calculé sur une longue période (généralement trente ans).

Nappe phréatique
Nappe d'eau imprégnant les roches, formée par l'infiltration des eaux de pluie et alimentant les sources et les puits.

Percolation
Passage lent d'un liquide se glissant à travers les interstices du sol.

Pergélisol
Sol ou couche rocheuse des régions polaires gelé en permanence. Synonyme : permafrost.

Réserve utile
Quantité d'eau du sol dont la végétation peut disposer pour assurer sa croissance.

Résurgence
Réapparition à l'air libre d'une rivière souterraine.

Rétroaction (boucles de rétroaction)
On appelle rétroaction l'action en retour de l'effet sur la cause qui lui a donné naissance. Les boucles de rétroaction sont dites positives quand l'effet renforce la cause et négatives quand il la ralentit.

Ripisylve
Bordure boisée d'un cours d'eau.

Résilience
Capacité d'un écosystème à revenir à un état antérieur après une perturbation.

N.B. : ce glossaire a été réalisé à l'aide du *Dictionnaire multilingue et multimédia de l'environnement et des sciences de la terre*, Iasi (Roumanie), Azimuth, 2005.

BIBLIOGRAPHIE SÉLECTIVE ET SITES WEB

Académie des sciences, *Les Eaux continentales*, Paris, EDP, 2006.

Andréassian V., Margat J., *Rivières et rivaux, les frontières de l'eau*, Versailles, Éd. Quae, 2012.

Bethemont J., *Les Grands fleuves*, Paris, Armand Colin, 2002.

Barraqué B. (dir.), *Les Politiques de l'eau en Europe*, Paris, La Découverte, 1995.

Baron C. et al., *Imaginaires de l'eau, imaginaire du monde : 10 regards sur l'eau et sa symbolique dans les sociétés humaines*, Paris, La Dispute, 2007.

Baron C. (dir.), « Société civile et marchandisation de l'eau, expériences internationales », *Sciences de la société*, Toulouse, Presses universitaires du Mirail, n° 64, février 2005.

Blanchon D., *Géopolitique de l'eau : entre conflits et compromis*, Éd. Le Cavalier Bleu, Paris, 2019.

Bravard J.-P., Petit F., *Les Cours d'eau, dynamique du système fluvial*, Paris, Armand Colin, 1997.

Cornut P., *Histoires d'eaux. Les Enjeux de l'eau potable au XXIe siècle en Europe occidentale*, Bruxelles, Luc Pire, 2003.

Cosandey C. (dir.), *Les Eaux courantes : géographie et environnement*, Paris, Belin, 2003.

Frérot A., *L'eau. Pour une culture de la responsabilité*, Paris, Autrement, 2009.

Hellier E., Carré C., Dupont N., Laurent F., Vaucelle S., *La France : la ressource en eau. Usages, gestions et enjeux territoriaux*, Paris, Armand Colin, 2009.

Jaglin S., *Services d'eau en Afrique subsaharienne*, Paris, CNRS éditions, 2005.

Laganier R., Arnaud-Fassetta G., Dacharry M. (dir.), *Les géographies de l'eau. Processus, dynamique et gestion de l'hydrosystème*, Paris, L'Harmattan, 2009.

Laimé M., *Le Dossier de l'eau*, Paris, Seuil, 2003.

Lasserre F., Brun A., *Gestion de l'eau. Approche territoriale et institutionnelle*, Sainte-Foy, PUQ, 2012.

Lasserre F., Descroix D., *Eaux et territoires. Tensions, coopérations et géopolitique de l'eau*, Sainte-Foy, PUQ, 2002.

Malavoi J.R., Bravard J.-P., *Éléments d'hydromorphologie fluviale, Office national de l'eau et des milieux aquatiques*, 2010 (en ligne : http://www.onema.fr/hydromorphologie-fluviale).

Margat J., *Les Eaux souterraines dans le monde*, Orléans, BRGM, 2008.

Margat J., *Atlas de l'eau dans le bassin méditerranéen*, Paris, Unesco, 2004.

Mutin G., *De l'eau pour tous ?*, Paris, La Documentation française, 2000.

ONU, *UN World Water Development Report (WWDR4)*, « *Managing Water under Uncertainty and Risk* », 2012 (en ligne : http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr4-2012/).

Paquerot S., *Eau douce. La nécessaire refondation du droit international*, Sainte-Foy, PUQ, 2005.

Petrella R. (dir.), *L'Eau,* res publica *ou marchandise ?*, Paris, La Dispute, 2003.

PNUD, *Rapport mondial sur le développement humain. Au-delà de la pénurie : pouvoir, pauvreté et crise mondiale de l'eau*, PNUD, 2006.

Raison J.-P., Magrin G., *Des fleuves entre conflits et compromis : essais d'hydropolitique africaine*, Paris, Khartala, 2009.

Smets H., *Le Droit à l'eau potable et à l'assainissement en Europe*, Paris, Johanet, 2012.

Smets H., *La Tarification progressive de l'eau potable*, Paris, Johanet, 2011.

Schneier-Madanes G. (dir.), *L'Eau mondialisée : la gouvernance en question*, Paris, La Découverte, 2010.

En ligne

Au niveau mondial

Aquafed, The International Federation of Private Water Operators : http://www.aquafed.org/

FAO, Aquastat : http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexfra.stm

International Water Management Institute : http://www.iwmi.cgiar.org/

OMS & Unicef, Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation : http://www.wssinfo.org/

Réseau international des organismes de Bassin : http://www.riob.org/

Transboundary river assessment program (TWAP) : http://twap-rivers.org

Unesco, Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau (WWAP) : http://www.unesco.org/water/wwap/index_fr.shtml

UN Water : http://www.unwater.org/

World Resources Institute (WRI), Earth Trends : http://earthtrends.wri.org

Sur l'eau en France

Eau France : http://www.eaufrance.fr/

Agences de l'eau en France : http://www.lesagencesdeleau.fr/

Eau de Paris : http://www.eaudeparis.fr/

SOURCES

Alatout S., « Water Balances in Palestine : Numbers and Political Culture in the Middle East », in Brooks D. B. et Mehmet O. (dir.), *Water Balances in the Eastern Mediterranean*, Ottawa, International Development Research Center, 2000.*

Allan J. A., « Le commerce de l'eau virtuelle », *La Recherche*, juillet-août 2008, n° 421, p. 74.

Aquafed, International Federation of Private Water Operators.*

Asian Development Bank, *Second Water Utilities Data Book Asian and Pacific Region*, octobre 1997, tableaux 11 et 18.

Australian Bureau of Statistics, Water Account Australia, 2004.

Barraqué B., « L'eau doit rester une ressource partagée », *La Recherche*, juillet-août 2008, n° 421, p. 78.

Bethemont J., *Les Grands fleuves*, Paris, Armand Colin, 1999.

Beverage Marketing Corporation, 2005.*

BIPE/FP2E, *Les Services collectifs d'eau et d'assainissement en France*, 3e édition, Paris, janvier 2008.

Bravard J.-P., « Les barrages dans l'histoire : géographie des foyers d'innovation et des influences technologiques », *La Houille blanche, revue internationale de l'eau*, n° 4-5, 2002, p. 130-133.

Brondeau F., « Les désajustements environnementaux dans la région de l'Office du Niger : évaluation et perspectives », *Cybergeo, revue européenne de géographie*, n° 263, 24 mars 2004.

Bundesverband Der Energie Und Wasserwirtschaft, Wasserfakten im Überblick, Berlin, 2008.

Cadène P., *Atlas de l'Inde*, Paris, Autrement, 2008.

Cairncross S., Kinnear J., « Elasticity of Water demand for Khartoum », Sudan, *Geojournal*, vol. 33-34, 1992, p. 183-189.

Centre for Ecology and Hydrology, Natural Environment Research Council.*

Clarke R., King J., *The Atlas of Water, mapping the most critical resource*, Londres, Earthscan, 2004.

CNES, dossier sur les traces d'El Niño.*

Coordination pour la défense du Marais poitevin.*

Cortès H., Lettres, Nuremberg, 1524, in Duverger C., « L'eau dans le monde aztèque », in Bernardis M.-A. (dir.), *Le Grand Livre de l'eau*, Paris, Cité des sciences et de l'industrie, 1990.

Cousteau J.-M., Vallette P., *Atlas de l'océan mondial*, Autrement, Paris, 2007.

Department of Water Affairs and Forestry (Afrique du Sud), 2006.*

Department of Water Resources du gouvernement canadien.*

Diercke Weltatlas, Munich, Westermann, 2008.

Diop S., Rekacewicz P., *Atlas mondial de l'eau, une pénurie annoncée*, Paris, Autrement, 2003.

Eau de Paris, *Alimenter Paris en eau*.*

Emergency Events Database.*

Environment Canada.*

European Environmental Agency, *Europe's water : An indicator-based assessment*, EEA, Copenhague, 2003.

FAO, Aquastat, 2021.*

GAP (Southeastern Anatolia Project).*

GIEC, 2021.*

Hydropower and Dams, World Atlas & Industry Guide.*

Iberian Rivers.*

Ifen-SCEES, *Enquête Eau*, 2004.*

Ifen, « Les pesticides dans les eaux. Données 2005 », *Les Dossiers Ifen*, n° 9, déc. 2007.

Initiative du Bassin du Nil.*

International Commission for the Protection of the Danube River.

International Lake Environment Committee.*

IWMI, *Insights from the Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, Stockholm World Water Week, 2006.

Jains.*

Johannesburg Water, 2013.*

Knafou R., *Les Alpes, une montagne au cœur de l'Europe*, Paris, La Documentation française, 2004.

Lasserre F., Descroix L., *Eaux et Territoires. Tensions, coopérations et géopolitique de l'eau*, Québec, PUQ, 2002, p. 24.

Margat J., *Atlas de l'eau dans le bassin méditerranéen*, Paris, Unesco, 2004.

Mestrallet G., « Savoir faire », cité dans *The Economist*, 17 juillet 2003.

Molle F. et *al*., « River basin development and management », in Molden D.(dir.), *Water for food, water for life : A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, Londres, Earthscan / Colombo, IWMI, 2007, p. 585-625.

Montginoul M., *La Consommation d'eau des ménages en France. État des lieux*, Paris, MEDD, Cemagref et ENGEES, 2002.*

Morris B. et *al*., *Groundwater and its Susceptibility to Degradation : A Global Assessment of the Problem and Options for Management. Early Warning and Assessment Report Series*, RS. 03-3, United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 2003.

Mutin G., *De l'eau pour tous ?*, Paris, La Documentation française, 2000.

Mutin G., *Le Tigre et l'Euphrate de la discorde*, IEP de Lyon, 2002.*

Mutin G., *L'Eau dans le monde arabe*, Paris, Ellipses, 2000.

OCDE, Statistiques clés de l'environnement de l'OCDE 2008, Direction de l'environnement de l'OCDE, Paris, 2008.

OMS, Unicef, Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation.*

ONU, The 2nd UN World Water Development Report. Water, a Shared Responsibility, 2006, chap. 4.*

Pinsent Masons Water Year Book 2010-2011.*

PNUD, *Rapport mondial sur le développement humain. Au-delà de la pénurie : pouvoir, pauvreté et crise mondiale de l'eau*, PNUD, 2006.*

Poquet G., Maresca B., « La consommation d'eau baisse dans les grandes villes européennes », *Credoc, Consommation et modes de vie*, n° 192, avril 2006.

Postel S. et *al*., « Drip Irrigation for Small Farmers : A New Initiative to Alleviate Hunger and Poverty », *International Water Resources Association, Water International*, vol. 26, n° 1, p. 3-13, mars 2001.

Ramsar, Convention de Ramsar sur les zones humides.*

Ravenga C. et *al*., Pilot *Analysis of Global Ecosystems : Freshwater Systems*, Washington DC, World Resources Institute, 2000.

Rosengrant M., Cai X., Cline S., *World water and food 2025: dealing with scarcity*, Washington DC, International Food Policy Research Institute, 2002.

Roy A., *The Greater Common Good*, Bombay, India Book, 1999.

Salomon J.-N., *Précis de karstologie*, Pessac, Presses universitaires de Bordeaux, 2006.

Sanjuan T., *Atlas de la Chine*, Paris, Autrement, 2018.

Satec Développement International, *Étude de l'évolution des modes d'occupation des sols du marais poitevin et des marais charentais*, Guyancourt, 1991.

Science et vie, n° 1090, juillet 2008.

Shiklomanov I. A., Rodda J. C., *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*, Cambridge, Cambridge University Press, 2003.

State Hydrological Institute (Shi, Russie), Unesco, in Shiklomanov I. A. (dir.), *World Water Resources and their Use*, Saint-Pétersbourg, 1999.*

Sullivan C., Meigh J., « Integration of the biophysical and social sciences using an indicator approach : Addressing water problems at different scales », *Water Resource Management*, vol. 21, 2007, p. 111-128.

Sullivan C. et *al*., « The Water Poverty Index : Development and application at the community scale », *Natural Resources Forum*, vol. 27, n° 3, août 2003, p. 189-199.

Syndicat professionnel des entreprises de services d'eau et d'assainissement, Aquae, n° 27, février 2006.

Tabeaud M., *La Climatologie*, Paris, Armand Colin, 1998.

Tapia S., « Le projet Gap en Turquie. Aménagement du territoire, politique intérieure et géopolitique », Actes du Festival international de géographie de Saint-Dié-des-Vosges, 2003.*

Transboundary Freshwater Dispute Database, Oregon State University.*

Turton A., Meissner R., « The Hydro-Social Contract and its Manifestation in Society : A South African Case Study », in Turton A. et Henwood R. (dir.), *Hydropolitics in the Developing World : A Southern African Perspective*, Pretoria, African Water Issues Research Unit, 2002.

UNEP, Global Environment Monitoring System (GEMS), *Water quality of world river basins*, Nairobi, UNEP, 1995.

US Bureau of Reclamation, Lower Colorado.*

Vigneau J.-P., *L'Eau atmosphérique et continentale*, Paris, Sedes, 1996.

Water Account Australia, Australian Bureau of Statistics, 2004.

Waterwise, Hidden Waters, Waterwise briefing, février 2007.*

Wolf A., « Water : A trigger for Conflict / A reason for cooperation », in Lasserre F. et Descroix L., *Eaux et Territoires. Tensions, coopérations et géopolitique de l'eau*, Québec, PUQ, 2002, p. 35.

Wolf A., *Atlas of International Freshwater Agreements*, UNEP, 2002.*

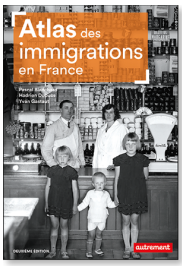
World Resources Institute (WRI), Earth Trends.*

Worldwide Hydrogeological Mapping and Assessment Programme (WHYMAP).*

---

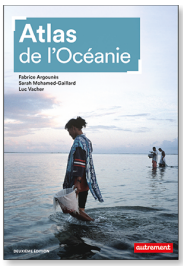
* Disponible en ligne

Derniers titres parus dans la collection « Atlas »



Atlas des immigrations en France

Pascal Blanchard
Hadrien Dubucs
Yvan Gastaud



Atlas de l'Océanie

Fabrice Argounès
Sarah Mohamed-Gaillard
Luc Vacher

Atlas du climat

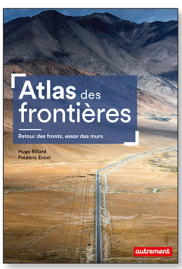
Face au défi du réchauffement

François-Marie Bréon
Gilles Luneau

Atlas de l'Europe

Un continent dans tous ses états

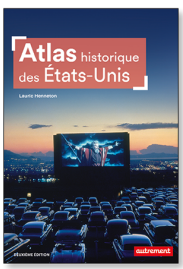
Frank Tétart
Pierre-Alexandre Mounier



Atlas des frontières

Retour des fronts, essor des murs

Hugo Billard
Frédéric Encel



Atlas historique des États-Unis

Lauric Henneton

Atlas des premières colonisations

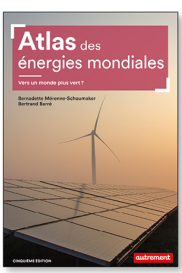
XVe-début XIXe siècle : des conquistadores aux libérateurs

Marcel Dorigny

Atlas de la Shoah

La mise à mort des Juifs d'Europe, 1939-1945

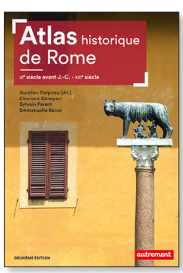
Georges Bensoussan



Atlas des énergies mondiales

Vers un monde plus vert ?

Bernadette Mérenne-Schoumaker
Bertrand Barré



Atlas historique de Rome

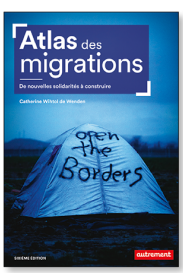
IXe siècle avant J.-C. - XXIe siècle

Collectif

Atlas de la Première Guerre mondiale

La chute des empires européens

Yves Buffetaut



Atlas des migrations

De nouvelles solidarités à construire

Catherine Wihtol de Wenden